



TUGAS AKHIR (RC14 – 1501)

**MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN
GUNA WANGSA MERR DENGAN SISTEM GANDA
MEMAKAI ELEMEN PRACETAK**

**MOHAMMAD ANDRIYA GUNARTONO
NRP. 3110 100101**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Prof. Tavio, Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT (RC14 – 1501)

***GUNAWANGSA MERR* BUILDING PLAN**

**MODIFICATION WITH DUAL SYSTEM AND PRECAST
ELEMENT**

**MOHAMMAD ANDRIYA GUNARTONO
NRP. 3110 100101**

**Thesis Adviser
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
Prof. Tavio, Ph.D.**

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

**MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG
APARTEMEN GUNAWANGSA MERR DENGAN
SISTEM GANDA MEMAKAI ELEMEN PRACETAK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknologi Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MOHAMMAD ANDRIYA GUNARTONO
Nrp. 3110 100 101

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. I.G.P. Raka DEA

(Pembimbing I)

2. Prof. Tavio, Ph.D.

(Pembimbing II)

SURABAYA

JULI, 2016

**MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG
APARTEMEN GUNAWANGSA MERR DENGAN
METODE SISTEM GANDA DAN ELEMEN
PRACETAK**

NamaMahasiswa : Mohammad Andriya Gunartono
NRP : 3110 100 101
Jurusan : Teknik Sipil, FTSP – ITS
DosenKonsultasi : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka,
DEA
Prof. Tavio, Ph.D.

ABSTRAK

Apartemen Gunawangsa MERR merupakan gedung yang terdiri dari 24 lantai yang pada awalnya didesain menggunakan struktur beton bertulang cor di tempat dan memakai dinding geser pada Gedung. Sebagai bahan studi perancangan, bangunan ini dimodifikasi menggunakan sistem ganda dan struktur pracetak pada bagian elemen sekunder dan balok. Bagian sekunder yang dimaksud terdiri dari balok anak, pelat, dan tangga. Untuk struktur primer selain balok seperti kolom dan bantalan pondasi tetap menggunakan cor di tempat. Struktur pracetak merupakan suatu alternatif yang menguntungkan dalam pembangunan gedung dan struktur lainnya, berdasarkan pertimbangan efisiensi, praktis, dan keakuratan kontrol kuatnya. Semakin banyak elemen struktur menggunakan pracetak, semakin signifikan keuntungan yang di dapatkan. Dua hal penting dalam menggunakan elemen pracetak pada struktur, yaitu sambungan elemen pracetak dan metode penanganannya. Selain pracetak metode sistem ganda juga di rencanakan pada modifikasi ini. Sistem ganda sangat berguna dalam menahan beban lateral yang biasanya diakibatkan oleh gempa, terutama pada dinding gesernya. Kekuatan penahan lateral pada dinding geser ini membuat kebutuhan

dimensi kolom - kolom pada bangunan berkurang signifikan, sehingga ada penghematan volume pada pembangunannya. Dengan demikian semakin banyak ruang pada bangunan di antara kolom - kolom. Gedung apartemen ini juga direncanakan dengan menggunakan Sistem Rangka Gedung (Building Frame System). Dengan penggunaan sistem rangka gedung, beban gravitasi akan diterima oleh rangka sementara beban lateral yang berupa beban angin dan beban gempa diterima oleh dinding geser (Shearwall). Tujuan dari Tugas akhir ini adalah menghasilkan perencanaan struktur gedung dengan metode sistem ganda dan elemen struktur pracetak yang baik dan benar dengan memenuhi persyaratan keamanan struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013, SNI 03 1726-2012, dan PPIUG 1983. Dengan acuan tersebut diharapkan gedung yang direncanakan mampu menerima gaya gravitasi serta gaya lateral sehingga gedung dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

Kata Kunci : Sistem Ganda, Pracetak, Dinding Geser

GUNAWANGSA MERR BUILDING PLAN MODIFICATION WITH DUAL SYSTEM AND PRECAST ELEMENT

Student Name : **Mohammad Andriya
Gunartono**
NRP : **3110 100 101**
Department : **Civil Engineering, ITS**
Thesis Adviser : **Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu
Raka, DEA**
Prof. Tavio, Ph.D.

ABSTRACT

Gunawangsa MERR Apartement is twenty four stories building that designed using conventional concrete method and shear walls in construction. As material of planning study, this modified building is dual system and precast concrete use at secondary elements and main beam of building part. Secondary elements are secondary beam, slab and staircase. Primary elements, such as column and pile cap, are using conventional method. Precast structure is beneficial alternate in building structure and other concrete structure. It is because of efficiency, practical and force controlling accuration. There are more benefit as more as using precast concrete element in structural conctruction. There are two important things using precast element structure, which is connection of precast concrete and its construction maintenance method. There is also dual system method applied in building modification planning, besides precast concrete element. Dual system is usefull to resist lateral force caussed by earthquake, especially at the shear wall. Lateral force resistance caused by shear wall makes building column smaller than usual, so it is more economical and spaces between area because of concrete volume reduction at the construction. This apartment building also designed using Building Frame System. This

system divides gravitational force to its frame and lateral force to its shear wall. This final project purpose is to make building modification plan using dual system and precast concrete correctly, which is based on SNI 03-2847-2013, SNI 03 1726-2012, dan PPIUG 1983 codes. This final project purpose is to satisfy all of the modified specification, system methods and building codes in designing safe and sustain building, so the building is steady and sustain properly.

Key Words : Dual System, Precast, Shear Wall

Daftar Isi

Daftar Isi	i
Daftar Gambar.....	vi
Daftar Tabel	viii
BAB I.	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum	5
2.2 Struktur Pracetak	6
2.2.1 Pelat	7
2.2.2 Balok.....	9
2.2.3 Sambungan Pracetak	12
2.2.4 Penanganan Pracetak	13
2.2.5 Titik Angkat Pracetak.....	14
2.3 Struktur Dinding Geser.....	16
2.3.1 Perhitungan Dimensi Dinding Struktur ...	16
2.3.2 Kuat Geser Dinding Struktur	17
2.3.3 Penulangan Geser	17
2.4 Pembebanan.....	18
2.5 Perencanaan Sambungan	19
BAB III. METODOLOGI.....	21
3.1 Umum	21
3.2 Diagram Alir Perencanaan.....	23
3.3 Pengumpulan Data.....	25
3.4 Studi Literatur.....	26
3.5 Pemilihan Kriteria Desain	27
3.6 Preliminary Data.....	28
3.6.1 Dimensi Kolom.....	28
3.6.2 Dimensi Balok	28
3.6.3 Dimensi Dinding Geser	29
3.6.4 Dimensi Pelat	32
3.6.5 Dimensi Tangga	32

3.6.6 Dimensi Pondasi	33
3.7. Beton Pracetak	34
3.7.1 Balok Pracetak	35
3.7.2 Pelat Pracetak	37
3.7.3 Sambungan Elemen Pracetak	39
3.7.4 Penanganan Pracetak	43
3.8. Analisa Pembebanan.....	45
3.8.1 Beban Mati	45
3.8.2 Beban Hidup	46
3.8.3 Beban Gempa	46
3.8.4 Beban Angin	46

BAB IV.

PRELIMINARY DESIGN

4.1 Data Perencanaan	47
4.2 Perencanaan Dimensi	47
4.2.1 Balok	47
4.2.2 Pelat	49
4.2.3 Kolom	56
4.2.4 Dinding Geser	58
4.2.5 Tangga	59

BAB V. PERENCANAAN SEKUNDER

5.1 Perencanaan Pelat	61
5.1.1 Pembebanan Pelat	61
5.1.1.1 Pelat Lantai	61
5.1.1.2 Pelat Atap	62
5.1.2 Penulangan Pelat	63
5.1.3 Panjang Penyaluran Pelat	74
5.1.4 Perhitungan Angkat	74
5.1.5 Penulangan Stud Pelat	75
5.2 Perencanaan Tangga	77
5.2.1 Data-data Perencanaan Tangga	77
5.2.2 Perencanaan Pelat Tangga	78
5.2.3 Pembebanan Tangga dan Bordes	78
5.2.4 Perhitungan Gaya pada Tangga	79
5.3 Perencanaan Balok Anak	86
5.3.1 Data-data Perencanaan Balok Anak	86

5.3.2 Perencanaan Balok Anak	87
5.3.3 Perhitungan Momen dan Gaya Geser	88
5.3.4 Perhitungan Tulangan Lentur	88
5.3.5 Perhitungan Tulangan Geser	92
5.3.6 Pengangkatan Balok Anak	94
5.4 Perencanaan Balok Lift	97
5.4.1 Perencanaan Dimensi Balok	98
5.4.2 Pembebanan Balok	98
5.4.3 Penulangan Balok	101
BAB VI. PERENCANAAN GEMPA	
6.1 Perencanaan Pembebanan Gempa	104
6.2 Data - Data Perencanaan	104
6.3 Perhitungan Berat Struktur	105
6.4 Prosedur Analisis Beban Seismik	114
6.5 Kontrol Drift	122
6.6 Perhitungan Geser Dasar	124
6.7 Kontrol Sistem Ganda	126
6.8 Kontrol Torsi Gedung	127
6.9 Kontrol P-Delta	129
BAB VII. PERENCANAAN PRIMER	
7.1 Perencanaan Balok Induk	131
7.1.1 Penulangan Balok Induk.....	131
7.1.2 Pengangkatan Elemen Balok	189
7.2 Perencanaan Kolom	193
7.3 Perencanaan HBK	198
BAB VIII. PERENCANAAN SAMBUNGAN	
8.1 Umum	199
8.2 Desain Sambungan	200
8.2.1 Klasifikasi Sistem dan Sambungan	200
8.2.2 Mekanisme Pemindahan Beban	200
8.2.3 Stabilitas dan Keseimbangan	201
8.2.4 Pola - pola Kehancuran	201
8.3 Topping Beton	202
8.4 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom	
203	
8.4.1 Perencanaan Konsol pada Kolom	199

8.4.2 Perhitungan Sambungan Balok Kolom ..	209
8.5 Perencanaan Sambungan Balok	210
8.5.1 Perencanaan Konsol pada Balok Induk ..	210
8.5.2 Perhitungan Sambungan Balok Induk	213
BAB IX. PERENCANAAN PONDASI	
9.1 Umum	216
9.2 Data Tanah	216
9.3 Spesifikasi Tiang Pancang	216
9.4 Daya Dukung Tiang	217
9.4.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal ...	217
9.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok	218
9.4.3 Repartisi Beban di Atas Tiang Berkelompok	219
9.4.4 Perhitungan Tiang Pancang Tunggal.....	220
9.4.5 Perhitungan Tiang Pancang Kelompok ...	221
9.4.6 Kontrol Beban Maksimum Tiang	223
9.4.7 Kontrol Kekuatan Tiang Pondasi	224
9.5 Perencanaan Poer	225
BAB X. METODE PELAKSANAAN	
10.1 Umum	228
10.2 Proses Produksi Elemen Beton Pracetak .	229
10.3 Pengangkatan dan Penempatan Tower Crane	229
10.4 Proses Pelaksanaan	230
BAB XI. PENUTUP	
11.1 Ringkasan	232
11.2 Saran	233
LAMPIRAN	234

Daftar Gambar

2.1 Jepit Pelat Lantai	8
2.2 Struktur Lantai Beton Pracetak	8
2.3 Penampang Tulangan Tunggal	9
2.4 Penampang Tulangan Ganda	10
2.5 Diagram tegangan regangan tulangan tunggal	11
2.6 Diagram tegangan regangan tulangan ganda	11
2.7 Empat titik angkat pada pracetak	15
2.8 Delapan titik angkat pada pracetak	15
4.1 Detail pelat	52
4.2 Detail tangga	60
5.1 Titik pengangkatan saat ereksi	68
5.2 Diagram gaya geser penampang komposit	76
5.3 Permodelan struktur tangga	79
5.4 Gaya normal tangga	82
5.5 Gaya geser tangga	83
5.6 Gaya momen tangga	83
5.7 Pengangkata balok anak	94
5.8 Jarak tulangan angkat	95

6.1 Peta MCE_R untuk S_S	116
6.2 Peta MCE_R untuk S_1	116
6.3 Respon spektrum tanah lunak	120
6.4 Letak dinding geser pada denah XY	126
6.5 Simpangan lantai basement	127
6.6 Simpangan lantai 5 s/d atap	128
7.1 Pembebanan balok induk sebelum komposit	132
7.2 Letak balok melintang eksterior	136
7.3 Gaya lintang rencana pada struktur	142
7.4 Letak balok melintang interior	150
7.5 Letak balok memanjang eksterior	165
7.6 Letak balok memanjang interior	178
7.7 Pengangkatan balok pracetak	190
7.8 Jarak tulangan angkat	191
7.9 Letak kolom tertinjau	193
7.10 Diagram interaksi kolom	195
8.1 Penulangan konsol pendek	204
9.1 Denah tiang pancang	222

9.2 Diagram gaya lateral pondasi	224
10.1 pemasangan balok pracetak	231

Daftar Tabel

3.1 Tabel Minimum Balok Non-Prategang.....	35
3.2 Lendutan maksimum terhitung yang diijinkan	37
3.3 Toleransi pada d dan selimut beton	42
3.4 Tipe metode penanganan	44
5.1 Tulangan terpasang pada pelat	77
6.1 Luas per lantai	105
6.2 Panjang balok induk per lantai	105
6.3 Jumlah kolom per lantai	106
6.4 Berat lantai atap	106
6.5 Berat lantai 1	108
6.6 Berat lantai 2 - 3	109
6.7 Berat lantai 4	110
6.8 Berat lantai 5 - 24	111
6.9 Berat lantai atap	112
6.10 Berat setiap lantai	113

6.11 Klasifikasi situs	115
6.12 Koefisien situs F_a	117
6.13 Koefisien situs F_v	117
6.14 Kategori desain seismik berdasar S_{DS}	118
6.14 Kategori desain seismik berdasar S_1	118
6.16 Faktor R , C_d , dan Ω_0	119
6.17 Nilai parameter pendekatan C_t dan x	120
6.18 Koefisien untuk batas atas periode hilang.....	121
6.19 Sempangan per lantai	123
6.20 Gaya geser dasar ragam (V_t)	124
6.21 Gaya geser dasar ragam akhir (V_t)	125
6.22 Persentase beban lateral	126
6.23 Faktor pembesaran torsi	128
6.24 Kontrol pengaruh P-Delta	130
9.1 Hasil analisis SPT	220

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan jaman menuntut bertambahnya lahan untuk tempat tinggal maupun perkantoran. Sedangkan tanah memiliki keterbatasannya tersendiri. Bangunan vertikal merupakan alternatif untuk bertambahnya tempat tinggal tanpa menambah lahan secara berlebihan. Oleh karenanya diperlukan lebih banyak tenaga manusia yang memahami perancangan gedung secara keseluruhan. Dengan begitu keberadaan gedung di kemudian hari akan lebih memungkinkan dan mampu mengimbangi tuntutan perkembangan jaman. Studi mengenai teknologi struktur adalah salah satu komponen utama dalam pelatihan profesional untuk insinyur, arsitek, kontraktor bangunan, manajer proyek konstruksi, pengawas dan pihak-pihak lain yang terlibat dalam konstruksi bangunan, jembatan dan bentuk struktur lainnya (Dishongh, 2003).

Perancangan gedung memiliki berbagai macam alternatif pada perkembangannya. Baik berdasarkan cara pengerjaan cornya, berdasarkan struktur utamanya dan struktur rangka pemikul momennya. Berdasar cara pengerjaan cornya dapat di bedakan menjadi cor ditempat dan beton pracetak. Berdasarkan strukturnya utamanya dan SNI 1726-2012 dapat dibagi menjadi struktur rangka pemikul momen, struktur dinding geser dan struktur ganda yaitu struktur gabungan dari kedua sistem sebelumnya ("Disain Kapasitas Struktur Daktail Tahan Gempa", ITS Press). Berdasar sistem rangka pemikul momennya dapat di bedakan menjadi struktur rangka pemikul momen biasa, struktur rangka pemikul momen menengah dan struktur rangka pemikul momen khusus.

Pada pengerjaannya struktur beton akan lebih cepat jika menggunakan bahan-bahan beton pracetak. Ini dikarenakan beton pracetak akan di desain pabrik sesuai pemesanan lalu di pasang pada struktur bangunan. Struktur sekunder pada gedung ini akan memakai beton pracetak. Sejak pengenalannya di Amerika Serikat pada 1950, beton pracetak memberikan banyak keuntungan dan berkembang pesat daripada material bangunan lainnya (Kent Preston & Sollenberg, 1967). Pada struktur utamanya gedung akan memakai sistem ganda. Sistem ganda akan menguntungkan dari sisi penerimaan gaya lateral yang di timbulkan oleh angin dan gempa. Sistem ganda adalah sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser ataupun oleh rangka pemikul momen dan rangka bresing (SNI 1726 2012, pasal 3.49). Pada sistem pemikul momennya dipilih sistem rangka pemikul momen menengah. Ini dikarenakan sistem rangka pemikul momen menengah memiliki kesesuaian tertentu dengan daerah tenggara surabaya. Semua pemilihan sistem ini tentu harus disesuaikan dengan peraturan-peraturan yang berlaku. Maka dari itu sebagian perancangan ini akan disesuaikan dengan kondisi tertentu untuk menyesuaikan dengan pilihan - pilihan sistem tersebut.

Adapun beberapa alasan pemilihan lokasi perancangan pada daerah tenggara surabaya. Adanya akses jalan utama ke dan dari bandar udara Juanda merupakan indikasi perkembangan yang menjanjikan di daerah tersebut. Begitu pula banyaknya lahan kosong berupa sawah warga memungkinkan untuk di bangun gedung-gedung lebih banyak lagi di daerah tersebut. Oleh karena hal tersebut pemilihan daerah tenggara Surabaya dilakukan.

Sehingga pembuatan tugas akhir ini akan mengacu pada beberapa hal. Antara lain adalah menggunakan sistem pracetak pada struktur sekunder, menggunakan sistem ganda

dan sistem rangka pemikul momen menengah. Adapun pada langkah-langkah perancangannya akan mengacu pada peraturan-peraturan SNI 1726-2012, SNI 2847-2013 dan PPIUG 1983. Demikian hingga perancangan akan sesuai dengan kondisi-kondisi yang berlaku.

1.2. Perumusan Masalah

2.1. Perumusan Masalah Umum

1. Bagaimana mendesain *preliminary* gedung *Gunawangsa MERR* dengan elemen pracetak dan menggunakan sistem ganda?

2.2. Perumusan Masalah Khusus

1. Bagaimana mendesain struktur sekunder menggunakan pracetak?
2. Bagaimana mendesain struktur balok menggunakan pracetak?
3. Bagaimana merancang gedung dengan sistem ganda?
4. Bagaimana mendesain sambungan antara elemen pracetak dengan elemen cor di tempat?

1.3. Tujuan

Tujuan pada tugas akhir ini ini adalah :

1. Mendesain struktur pracetak dan sistem ganda secara keseluruhan.
2. Mendesain sambungan pracetak pada struktur sekunder dan balok menggunakan sistem ganda sesuai peraturan-peraturan yang berlaku.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Tidak memperhitungkan analisa manajemen konstruksi.

2. Peraturan yang dipakai adalah SNI 2847-2013, SNI 1726-2012, SNI 7833 - 2012 dan PPIUG 1983.
3. Penggunaan beton cor di tempat pada struktur primer selain balok.
4. Penggunaan beton racetak pada struktur sekunder dan balok.
5. Perencanaan tidak termasuk sistem utilitas, sanitasi dan kelistrikan.
6. Tidak memperhitungkan campuran material beton secara detail.
7. Merencanakan salah satu gedung pada lantai 5 sampai dengan lantai 24.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Dapat menjadi acuan dalam pengerjaan mendesain gedung pracetak.
2. Memahami perancangan suatu gedung menggunakan elemen pracetak dan sistem ganda secara keseluruhan.

Memahami cara menghubungkan antara beton pracetak dan cor di tempat dengan sistem ganda pada suatu gedung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Sistem beton pracetak telah mengalami perkembangan yang sangat pesat di dunia, termasuk di Indonesia dalam beberapa dekade terakhir ini. Hal ini disebabkan karena sistem ini mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan sistem konvensional dalam hal kehandalan struktur, kualitas, dapat diproduksi massal, waktu pelaksanaan yang cepat, ekonomis dan ramah lingkungan. Berhubung kondisi geologis Indonesia yang banyak terletak di daerah gempa kuat, maka sistem pracetak yang dikembangkan haruslah direncanakan agar mampu menahan gempa kuat. Sejak tahun 1995, para penemu di Indonesia telah mengembangkan, menguji dan menerapkan sistem pracetak dalam bentuk rangka terbuka dan dinding pemikul untuk rumah susun sederhana bertingkat medium. Untuk mendukung program 1000 tower, maka sejak tahun 2007 dikembangkan sistem pracetak dalam bentuk rangka terbuka yang dikombinasikan dengan dinding geser, dan sistem dinding pemikul untuk rumah susun sederhana bertingkat tinggi. Sampai saat ini ada 32 paten sistem pracetak tahan gempa yang telah dikembangkan dan dapat diterapkan pada pembangunan gedung bertingkat (Nurjaman dkk. 2010).

Distribusi beban pada struktur memakai prinsip bahwa komponen struktur akan menerima beban sesuai dengan kekakuannya. Pada Sistem Ganda, komponen SRPM berupa kolom, menerima beban lateral minimal sebesar 25%, sedangkan sisanya diterima oleh dinding geser. Dengan menghitung massa gedung berdasarkan dimensi komponen-komponennya, didapatkan gaya gempa nominal V yang didistribusikan menjadi gaya geser tiap lantai F_i . Gaya geser

Fi kemudian didistribusikan ke tiap portal yang proporsinya sesuai dengan kekakuan relatifnya. Dengan memodelkan dinding geser sebagai struktur kantilever, didapatkan gaya geser dan momen lentur, dan dari analisis terhadap *tributary area*, didapatkan gaya aksial, yang dipakai untuk merencanakan tulangan pada dinding geser, yang meliputi tulangan horizontal dan vertikal. Jika gaya aksial dan momen nominal pada penampang kurang dari gaya aksial dan momen ultimit hasil analisis, maka rasio tulangan perlu ditambah. Dan dari besarnya nilai c (jarak serat tekan terluar ke sumbu netral) dapat ditentukan apakah dinding geser perlu diberi komponen batas atau tidak. (Robach dkk, 2010).

Oleh karenanya penulis di sini akan menjelaskan tinjauan pustaka yang dipakai dan relevan dengan penulisan tugas akhir. Setiap tahapan - tahapannya menggunakan berbagai macam tinjauan pustaka. Besar kemungkinan satu literatur di pakai dalam beberapa tahapan. Literatur - literatur tersebut berhubungan dengan 3 hal utama pada struktur. Yaitu tentang pracetak, dinding geser, dan beton bertulang.

2.2. Struktur Pracetak

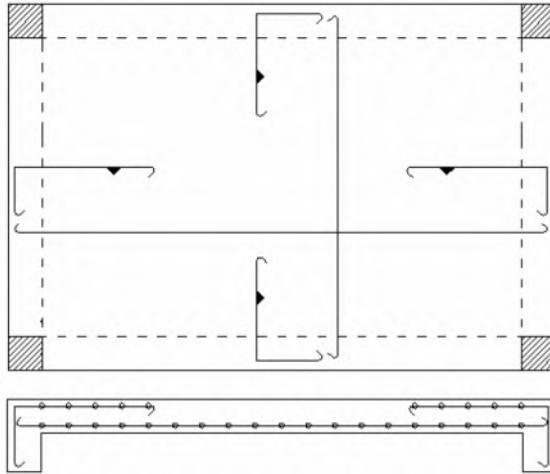
Dewasa ini, pembangunan di wilayah Indonesia berkembang dengan pesat. Banyaknya gedung - gedung yang dibangun membuat lahan yang tersedia semakin lama semakin sempit. Oleh karena itu, banyak daerah yang mulai membangun gedung - gedung bertingkat untuk mengatasi kekurangan lahan yang tersedia. Pembangunan gedung bertingkat saat ini sebagian besar menggunakan dua metode, yaitu dengan metode beton bertulang konvensional dengan menggunakan bekisting yang dicor di tempat dan menggunakan metode beton bertulang pracetak yang dibuat di pabrik atau di lokasi proyek kemudian dirakit. Keunggulan dari penggunaan metode beton bertulang pracetak dengan metode beton bertulang konvensional adalah waktu

pengerjaan yang lebih cepat, mudah dalam pelaksanaan, penghematan lahan, dan ekonomis dalam pemakaian bahan dan tenaga kerja. Oleh karena itu, saat ini sistem pemakaian beton bertulang pracetak telah banyak digunakan di luar negeri. Walaupun di Indonesia sudah dipakai tetapi dalam tahap penggunaannya yang sedikit (Ramadhan, 2012).

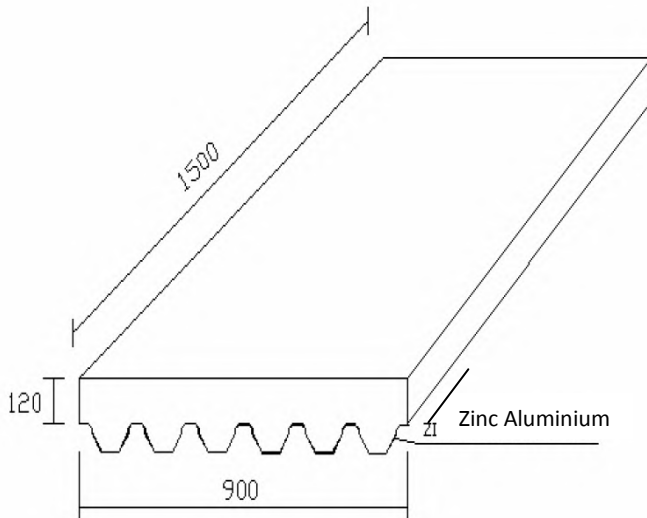
2.2.1. Pelat

Menurut Dwi Purwanto pada makalahnya menuliskan bahwa perencanaan pelat lantai beton bertulang pracetak mengikuti persyaratan yang tercantum dalam buku "Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971" N.1-2 (PBI 1971), antara lain :

- Pelat lantai harus mempunyai tebal sekurang-kurangnya 12 cm, sedang untuk pelat atap sekurang-kurangnya 7 cm.
- Pelat lantai harus diberi tulangan silang dengan diameter minimum 8 mm dari baja lunak atau sedang.
- Pada pelat lantai yang tebalnya lebih dari 25 cm harus dipasang tulangan rangkap atas-bawah.
- Jarak tulangan pokok yang sejajar tidak kurang dari 20 cm dan tidak lebih dari 25 cm atau dua kali tebal pelat.
- Semua tulangan pelat harus terbungkus lapisan beton setebal minimum 1 cm (Tabel 7.2.1 buku PBI 1971).
- Bahan beton pelat harus dibuat dari campuran : 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil + air.
- Bila untuk lapis kedap air dibuat dari campuran : 1 semen : 1,5 pasir : 2,5 kerikil + air secukupnya.



Gambar 2.1. Jepit pelat lantai di cor setempat
 Sumber : Majalah Inovasi vol 9/XIX/Nopember 2007



Gambar 2.2. Struktur lantai beton pracetak
 Sumber : Majalah Inovasi vol 9/XIX/Nopember 2007

2.2.2. Balok

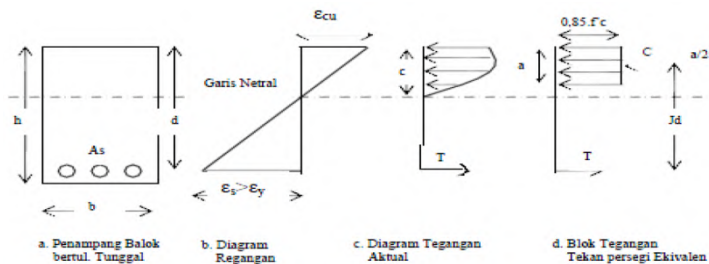
Menurut Arga Wiranata, dkk dalam rangkuman tesisnya dapat di informasikan bahwa Balok pracetak dapat di kelompokkan berdasarkan penampang. Yaitu balok berpenampang prismatis (persegi/persegi panjang) dan balok berpenampang tidak prismatis (Bentuk T/L). Berikut cara analisa terhadap balok pracetak berdasarkan bentuk penampangnya.

1. Penampang Prismatis

Penganalisisan struktur pracetak (balok) harus di lakukan agar asumsi-asumsi awal dalam pelaksanaan tidak terjadi kesalahan dalam perencanaan

a. Analisis balok persegi tulangan tunggal.

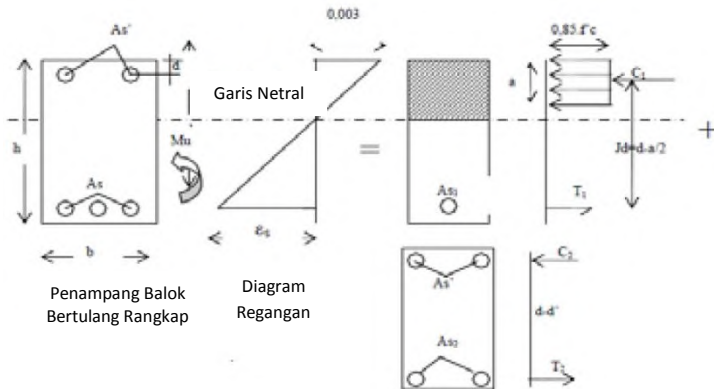
Analisis penampang adalah menghitung kapasitas/kekuatan penampang berdasarkan data - data penampang seperti : dimensi, luas tulangan, mutu beton (f'_c), mutu baja (f_y) dan letak tulangan. Untuk menganalisisnya kita bisa menggunakan dasar konsep seperti balok konvensional biasa :



Gambar 2.3. Penampang tulangan tunggal

Sumber : Ringkasan tesis Wiranata dkk.

b. Analisis balok persegi tulangan rangkap

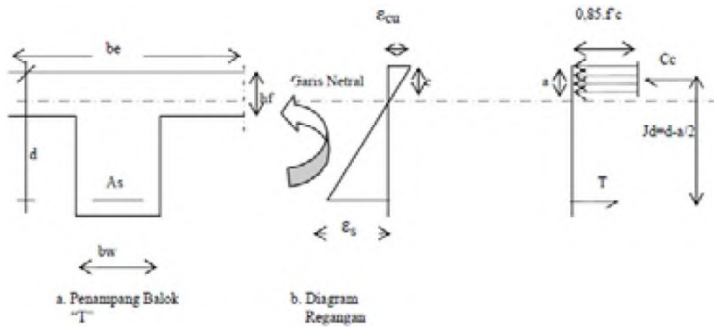


Gambar 2.4. Penampang tulangan ganda
Sumber : Ringkasan thesis Wiranata dkk.

2. Penampang Tidak Prismatis

Balok T merupakan kombinasi dari balok yang berada di bawah dan plat yang berada pada bagian atas yang di gabung menjadi 1 menjadi kesatuan yang monolit yang berperilaku menahan momen positif dan akan berperilaku menjadi balok persegi biasa apabila menahan momen negatif.

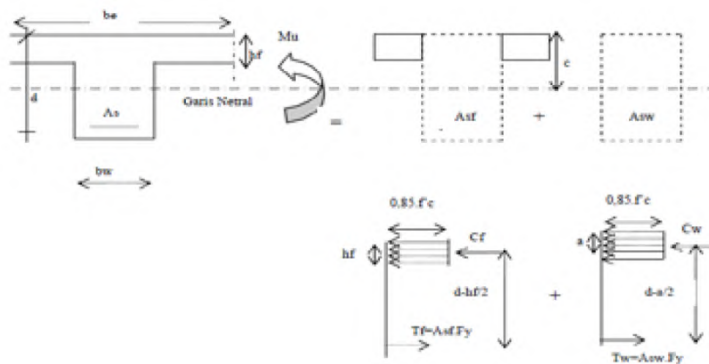
- a. Kondisi bila garis netral terletak dalam flens (sayap) $c < h_f$, maka analisa penampang dapat dilakukan sama dengan balok persegi dengan lebar balok = lebar efektif (b_e).



Gambar 2.5. Diagram tegangan regangan balok bersayap dengan tulangan tunggal

Sumber : Ringkasan thesis Wiranata dkk.

- b. Kondisi ketika garis netral memotong badan, $c > h_f$, maka balok diperlakukan sebagai balok T murni.



Gambar 2.6. Diagram tegangan regangan balok bersayap dengan tulangan ganda

Sumber : Ringkasan thesis Wiranata dkk.

2.2.3. Sambungan Pracetak

Bagian yang rawan dari struktur pracetak adalah pada bagian sambungan (*joint*) yang menghubungkan elemen pracetak yang satu dengan elemen pracetak lainnya. Dalam sistem beton pracetak dikenal dua jenis sambungan, yaitu sambungan basah (*wet-joint*) dan sambungan kering (*dry-joint*). Untuk *wet-joint* (*in-situ concrete joint*), struktur yang terbentuk lebih monolit, toleransi dimensi lebih tinggi bila dibandingkan dengan *dry-joint*, tetapi membutuhkan *setting-time* beton cukup lama yang berpengaruh pada waktu pelaksanaan konstruksi. Pada *dry-joint*, struktur yang terbentuk kurang monolit, setelah proses instalasi sambungan segera dapat berfungsi sehingga mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi, kelemahannya: toleransi dimensi rendah sehingga membutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan pemasangan (Noorhidana, 2010).

Prinsip perencanaan sambungan pada elemen pracetak dapat dikelompokkan dalam dua kategori (Priestley, 1996), yaitu :

1. Sambungan kuat (*strong connection*), bila sambungan antar elemen pracetak tetap berperilaku elastis pada saat gempa kuat, sistem sambungan harus dan terbukti secara teoritis dan eksperimental memiliki kekuatan dan ketegaran yang minimal sama dengan yang dimiliki struktur sambungan beton monolit yang setara.
2. Sambungan daktail (*ductile connection*), bila pada sambungan boleh terjadi deformasi inelestis, sistem sambungan harus terbukti secara teoritis dan eksperimental memenuhi persyaratan kehandalan dan kekakuan struktur tahan gempa.

Sambungan pracetak sebisa mungkin bersifat monolit. Hal ini untuk menyesuaikan kekuatan sambungan beton

pracetak terhadap bangunan elemen beton cor di tempat. kelemahan sambungan pracetak adalah tidak mempunyai kontinuitas tulangan dan integritas bila di bandingkan dengan struktur monolit. Hal ini biasanya di dekati dengan meng *cor* bagian sambungan elemen pracetak dengan beton mutu tinggi, sehingga sifat - sifat merugikan sambungan elemen pracetak dapat di kurangi. Sehingga sambungan pada elemen pracetak pada perancangan gedung berpengaruh penting terhadap kekuatan gedung secara menyeluruh.

2.2.4. Penanganan Pracetak

Proses produksi/pabrikasi beton pracetak dapat dibagi menjadi tiga tahapan berurutan (Sianturi, 2012), yaitu :

1. Tahap Desain

Proses perencanaan suatu produk secara umum merupakan kombinasi dari ketajaman melihat peluang, kemampuan teknis, kemampuan pemasaran. Persyaratan utama adalah struktur harus memenuhi syarat kekuatan, kekuatan dan kestabilan pada masa layannya.

2. Tahap Produksi

Beberapa bagian pekerjaan yang harus dimonitor pada tahap produksi :

- Persiapan
- Pabrikasi tulangan dan cetakan
- Penakaran dan pencampuran beton
- Penuangan dan pengecoran beton
- Transportasi beton segar
- Pemadatan beton
- Finishing / repairing beton
- Curing beton

3. Tahap Pasca Produksi

Tahap pasca produksi terdiri dari tahap penanganan (*handling*), penyimpanan (*storage*), penumpukan (*stacking*), pengiriman, transport dan tahap pemasangan di lapangan (*site erection*).

Sistem transportasi perlu memperhatikan hal - hal berikut :

- Spesifikasi alat transport : lebar, tinggi, beban maks, dimensi elemen.
- Rute transport : jarak, lebar jalan, kepadatan lalu lintas, ruang bebas bawah jembatan, perijinan dari instansi berwenang.

Pemilihan alat angkut dengan pertimbangan - pertimbangan sebagai berikut :

- Macam komponennya : linier atau plat
- Ketinggian alat angkat : berhubungan dengan ketinggian bangunan yang akan dibangun
- Berat komponen : pencapaian lokasi dan topografi

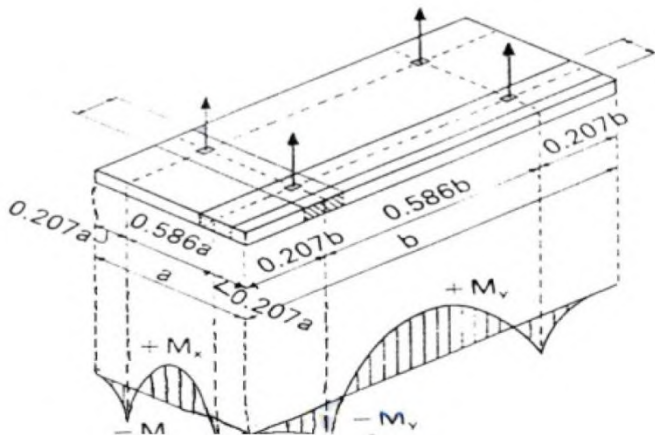
Jadi salah satu kunci keberhasilan pengaplikasian sistem pracetak adalah pada tahap penanganan. Bila akan mengaplikasikan sistem ini hendaknya direncanakan secara matang tahap disain, produksi dan pasca produksi.

2.2.5. Titik Angkat Elemen Pracetak

Elemen beton pracetak didesain untuk bertumpu pada titik - titik tertentu. Tidak semua bagian dari elemen mampu untuk menopang elemen dengan baik. Sehingga perlu penanganan khusus untuk melakukan perpindahan elemen -

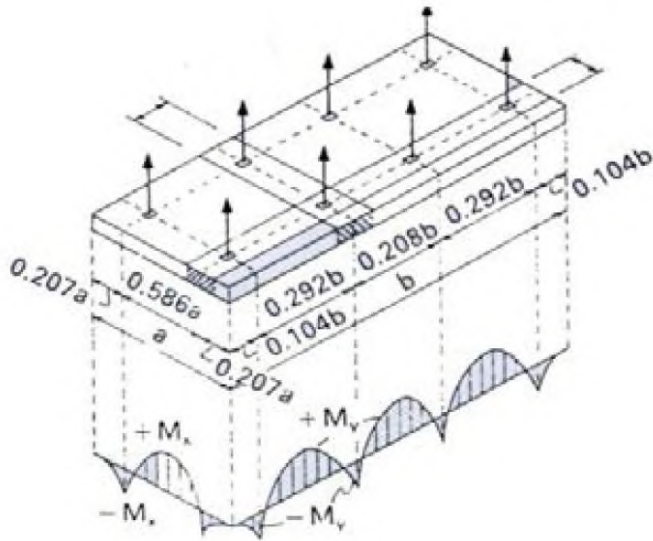
elemen pracetak agar tidak merusak komponen struktur pracetak.

Menurut Wiranata dkk, hal yang perlu diperhatikan untuk elemen beton pracetak adalah titik angkat dan sokongan untuk pelat pracetak :



Gambar 2.7. Titik angkat 4 tempat pada pracetak.

Sumber : Ringkasan thesis Wiranata dkk.



Gambar 2.8. Titik angkat 8 tempat pada pracetak.
Sumber : Ringkasan thesis Wiranata dkk.

2.3. Struktur Dinding Geser

Meningkatnya kebutuhan akan gedung tinggi harus diimbangi dengan pemahaman tentang sistem struktur gedung tinggi, terutama ketahanan terhadap gempa. Dalam SNI-1726-2012 telah diatur sistem ataupun subsistem struktur untuk merencanakan struktur gedung tahan gempa di berbagai wilayah gempa. Masing-masing sistem dan subsistem tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing sesuai dengan karakteristik gedung maupun beban, terutama beban gempa yang merupakan beban lateral. Terdapat tujuh sistem dan subsistem struktur gedung menurut SNI-1726-2012, yaitu Sistem Dinding Penumpu, Sistem Rangka Gedung, Sistem Rangka Pemikul Momen, Sistem Ganda, Sistem Struktur Gedung Kolom Kantilever, Sistem Interaksi

Dinding Geser dengan Rangka dan Subsistem Tunggal (Robach, Anggraini, dan Zacoeb; 2010).

2.3.1. Perhitungan Dimensi Dinding Struktural

Menurut Darmawan, 2012, dimensi dinding struktural direncanakan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 14.5.3, dimana ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari $1/25$ tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil, dan tidak pula kurang dari 100 mm.

Contoh perhitungan dimensi dinding struktural :

- Direncanakan tebal dinding struktural = 15 cm
- Dinding struktur tipe - 1 (DS 1)
- Panjang bentang dinding (L) = 300 cm
- Tinggi dinding (h) = 360 cm

$$t \geq \frac{H}{25} = \frac{560}{25} = 14,4 \text{ cm}$$

$$t \geq \frac{L}{25} = \frac{300}{25} = 12 \text{ cm}$$

Diambil yang terkecil & ketebalan yang digunakan tidak boleh kurang dari 100 mm.

Jadi DS setebal 15 cm telah memenuhi syarat.

Contoh kontrol kuat angkat crane :

- Jenis = POTAIN MDT 218 AJ8
- Beban angkut maksimal = 8800 kg

$$\begin{aligned} W_{DS} &= t \times h \times L \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,15 \times 3,6 \times 3 \times 2400 = 3888 \text{ kg} \end{aligned}$$

Syarat :

Beban angkut maksimal crane $\geq W_{DS}$, sehingga 8800 kg ≥ 3888 kg . . . (ok)

2.3.2. Kuat Geser Dinding Struktur

Menurut Robach, Anggraini, dan Zacoeb, kuat geser nominal, V_n , dinding struktural tidak diperkenankan lebih daripada :

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y)$$

Di mana koefisien $\alpha = 1/4$ saat $h_w/l_w \leq 1,5$ dan $\alpha = 1/6$ saat $h_w/l_w \leq 2$ dan dapat digunakan interpolasi linier untuk nilai - nilai di antaranya.

2.3.3. Penulangan Geser

Penulangan geser harus menerus dan menyebar pada bidang geser. Setidaknya harus dipakai dua lapis tulangan bila gaya geser terfaktor di dalam bidang dinding melebihi

$$2A_{cv}\sqrt{f'_c}$$

2.4. Pembebanan

Menurut Ramadhan dkk, untuk perencanaan beton bertulang, kombinasi pembebanan ditentukan berdasarkan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013) sebagai berikut :

- i. Kombinasi Pembebanan Tetap

Pada kombinasi pembebanan tetap ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

ii. Kombinasi Pembebanan Sementara

Pada kombinasi pembebanan sementara ini, beban yang harus diperhitungkan bekerja pada struktur adalah

$$U = 1,2 D + 1,0 L + 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

$$U = 0,9 D + 1,6 W$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E$$

Keterangan :

D = beban mati

L = beban hidup

A = beban atap

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

2.5. Perencanaan Sambungan

Pengembangan untuk pendekatan alternatif pada desain interior sambungan balok kolom juga sedang di lakukan. Pendekatan ini berdasarkan pada acuan mekanisme aksi pengikatan di tulangan longitudinal yang melewati daerah sambungan. Telah di temukan bahwa jumlah tulangan horizontal di sambungan dengan tekanan geser tinggi bisa di kontrol sesuai keinginan untuk menekan kegagalan tekan awal karena leleh berlebih di tulangan (Posada, 1992 hal 354).

Menurut Wiranata dkk, pendetailan sambungan harus sesuai dengan ketentuan SNI 03-2847-2013 Bab 13.3.8.5:

- Tulangan pelat yang menerus pada tumpuan balok, harus disambung dengan sambungan lewatan 1,01d.

- Tulangan dalam kondisi tekan (bawah) yang menerus pada tumpuan, disambung diatas tumpuan balok.
- Tulangan dalam kondisi tarik (atas) yang menerus pada tumpuan, disambung pada tengah bentang pelat.
- Tulangan dalam kondisi tarik (atas) yang berhenti pada balok tepi harus memakai kait standar dengan panjang $1d_h$.

Contoh perhitungan pelat 2700/2700 menerus pada balok dengan diameter tulangan 8 mm.

- Menentukan L_d (tulangan dalam kondisi tarik)

$$L_d = \frac{12 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \gamma \times \lambda}{25 \times \sqrt{f'_c}} \times d_b$$

$$L_d = \frac{12 \times 410 \times 1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{25 \times \sqrt{25}} \times 8$$

$$L_d = \frac{30720}{125} = 245,76 \text{ mm}$$

Syarat minimal tulangan tarik $\geq 300 \text{ mm}$

Jadi, panjang penyaluran tulangan tarik (atas) untuk sambungan lewatan pelat pracetak adalah $l_d = 300 \text{ mm}$.

- Menentukan L_d (tulangan dalam kondisi tekan)

$$L_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f'_c}}$$

$$L_{db} = \frac{8 \times 400}{4 \times \sqrt{25}} = 160 \text{ mm}$$

Syarat minimal tulangan tarik $\geq 200 \text{ mm}$

Jadi, panjang penyaluran tulangan tekan (bawah) untuk sambungan lewatan pelat pracetak adalah $l_{db} = 200 \text{ mm}$.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Umum

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengerjakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan, mempelajari dan memahami literatur - literatur dan data - data yang sesuai dengan tugas akhir. Literatur - literatur tersebut mencakup tentang :
 - a. Beton bertulang.
 - b. Beton pracetak.
 - c. Sambungan pada beton pracetak.
 - d. Dinding geser.
 - e. Peraturan beton untuk gedung.
 - f. Peraturan ketahanan gempa untuk gedung.
 - g. Peraturan pembebanan untuk gedung.
 - h. Hal yang sesuai dengan penyusunan Tugas Akhir.
2. Menentukan kriteria desain seperti data tanah dan lokasi desain struktur.
 - a. Data tanah untuk menentukan jenis, dimensi dan kedalaman pondasi.
 - b. Data lokasi untuk menentukan zona gempa yang diperhitungkan.
3. Membuat pre liminary desain dari perancangan. Pada tahap ini desain, volume, dan bentuk elemen yang di buat untuk di sesuaikan dengan analisis perancangan.

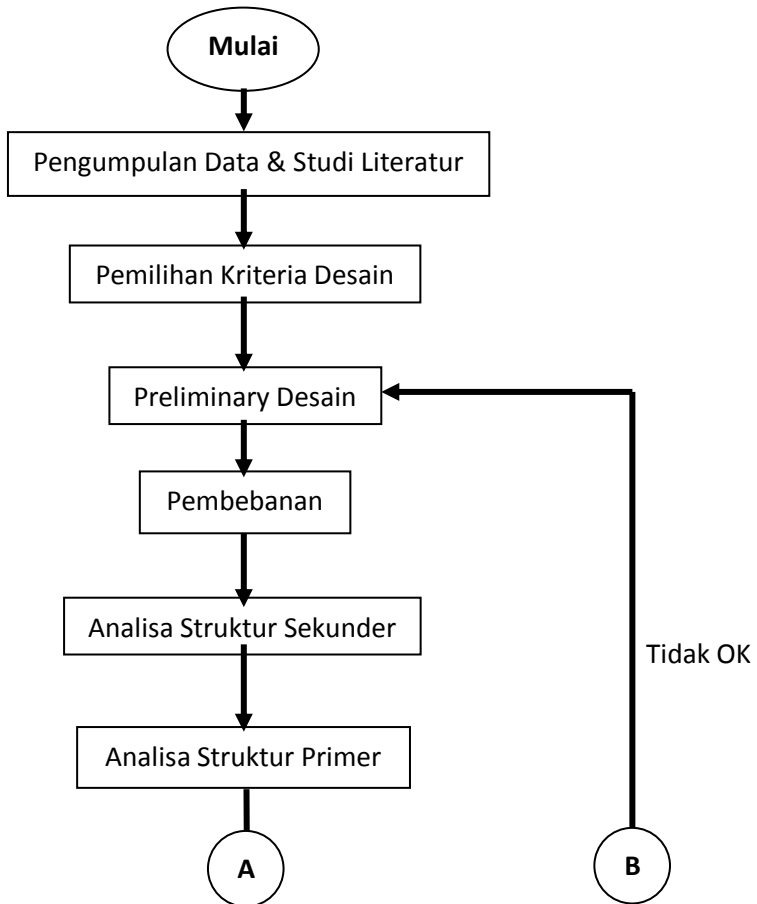
Karena pada analisis akan terjadi penyesuaian terhadap perancangan.

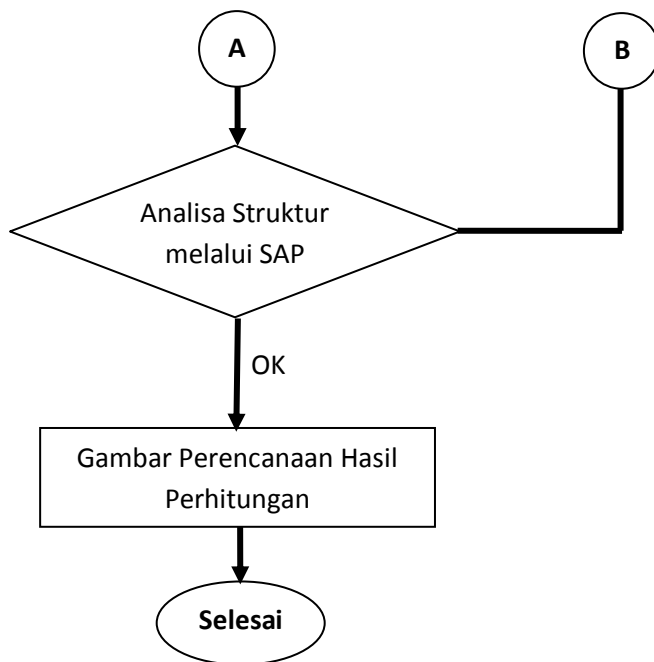
4. Membuat analisa pembebanan. Pada tahap ini beban - beban di klasifikasikan menjadi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa agar relevan dengan kondisi Indonesia.
5. Menganalisa struktur primer bangunan. Dalam hal ini yang di maksud bagian primer struktur untuk di analisa adalah kolom, balok, dinding geser, hubungan balok kolom dan pondasi.
6. Menganalisa struktur sekunder bangunan. Yang termasuk lingkup struktur sekunder dimaksud adalah pelat, tangga dan balok anak.
7. Apabila dalam menganalisis tidak mengalami kegagalan dalam kapasitas layannya, maka dapat di selesaikan dengan menggambar perencanaan hasil perhitungan. Adapun gambar - gambar tersebut adalah tampak depan, denah setiap lantai, dimensi pondasi, kolom, balok, pelat dan tangga.

Demikian tahapan - tahapan pada penyusunan tugas akhir nanti. Di harapkan dengan penyusunan metode ini dapat mempermudah proses tahapan - tahapan penyelesaian pada penyusunan tugas akhir.

3.2. Diagram Alir Perencanaan

Berdasarkan urutan - urutan metodologi yang telah di rancang, maka dapat di sajikan pada diagram alir berikut ini :





Demikian diagram alir penyusunan tugas akhir. Hal ini untuk mempermudah melihat skema metodologi yang dimaksudkan.

3.3. Pengumpulan Data

Bangunan gedung yang akan dirancang adalah bangunan dengan data - data sebagai berikut :

1. Data umum bangunan

- Letak Bangunan : Dekat dari pantai
- Spektrum Gempa : $S_s = 0,6- 0,7$ g ; $S_1 = 0,25$ g
- Jumlah Lantai : 24 lantai
- Tinggi Bangunan : 76,8 m
- Tinggi tiap lantai
 - 2 lantai pertama : 4 m
 - 1 lantai kedua : 5,2 m
 - 21 lantai terakhir : 3 m
- Panjang bangunan : 84,1 m
- Lebar bangunan : 49 m
- Struktur Bangunan : Beton pracetak biasa (non prategang)
- Struktur Pondasi : Pondasi tiang pancang

2. Data bahan

- Kuat tekan beton (f_c') : 25 Mpa
- Kuat leleh baja (f_y) : 410 Mpa
- Data tanah : Lokasi Kedung Baruk

3.4. Studi Literatur

Pada tugas akhir kali ini, literatur - literatur yang di gunakan adalah :

1. Badan standardisasi Nasional. 2013. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013).
2. Badan standardisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012).
3. Badan standardisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-7833-2012).
4. Departemen Pekerjaan Umum. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983).
5. Nawy, Edward G, Dr. P. E. 1998. Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar. Jakarta:Erlangga.
6. PCI. 1999. PCI Design Handbook Precast and Prestress Concrete Fifth Edition.Chicago:Illinois.
7. Wang Chu Kia dan Charles G Salmon. 1986. Desain Beton Bertulang Edisi ke Empat. Jakarta. Erlangga.
8. Purwono, Rachmat, Prof. Ir. M.Sc. 2005. Desain Beton Bertulang. Edisi ke Empat. Jakarta. Erlangga.

3.5. Pemilihan Kriteria Desain

Pemilihan beton pracetak sebagai komponen sekunder gedung karena kemampuannya mempersingkat waktu pada pembangunan struktur sehingga membuat ekonomis dari segi waktu. Dalam PCI hand book edisi ke lima menuliskan, penghematan waktu besar - besaran biasanya merupakan hasil dari pemilihan beton pracetak . Bangunan atas sedang di cetak ketika di lapangan sedang membuat pondasi. Kemungkinan terlambat berkurang dengan di supplynya keutuhan bangunan dalam satu kontrak. Pemasangan komponen pracetak yang besar bisa di lakukan bahkan ketika cuaca kurang mendukung untuk menyelesaikan keutuhan struktur. Kualitas penyelesaian dan jadwal yang cepat, kepuasan pemilik dan sedikitnya biaya. Faktor - faktor ini membuat beton pracetak dan pratekan bangunan sangat cocok untuk gedungan.

Pemilihan sistem ganda pada komponen utamanya di karenakan sistem ini menarik untuk di pelajari dan termasuk sistem yang masih jarang di pakai di Indonesia. Ketika dinding beton bertulang dengan kekakuan bidang datar yang sangat besar ditempatkan pada lokasi-lokasi tertentu yang cocok dan strategis, dinding tersebut dapat digunakan secara ekonomis untuk menyediakan tahanan beban horizontal yang diperlukan. Dinding-dinding seperti ini disebut dinding geser dan pada dasarnya merupakan balok kantilever vertikal yang tinggi dan memberikan stabilitas lateral kepada struktur dengan menahan geser dan momen tekuk pada bidang datar yang disebabkan gaya-gaya ateral. (Cormac 2004).

3.6. Preliminary Desain

Preliminary desain ini merupakan acuan perhitungan secara umum dalam menentukan dimensi suatu elemen pada struktur bangunan.

3.6.1. Dimensi Kolom

Pada intinya kolom harus memenuhi kemampuan layan suatu struktur. Pada buku Beton Bertulang dari Edwar G Nawy mensyaratkan setidaknya ada 2 hal yang harus di penuhi yaitu kuat aksial (P_n) dan kuat momen (M_n). Rumus umum :

$$P_{n(max)} = 0,8 \left[0,85 f'c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \right]$$

$$M_{n(max)} = \left(0,8 \left[0,85 f'c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \right] \right) e$$

Keterangan :

P_n = Kuat aksial nominal

M_n = Kuat momen nominal

$f'c$ = Kuat tekan beton

f_y = Kuat leleh tulangan

A_g = Luasan bersih penampang beton

A_s = Luasan bersih penampang tulangan

3.6.2. Dimensi Balok

Berbeda sedikit dengan kolom, pada balok yang sangat mempengaruhi dimensinya adalah kuat lentur. Hal ini karena elemen balok terletak melintang pada struktur bangunan. Pada buku Beton Bertulang dari Chu Kia menuliskan perumusan kuat lentur nominal seperti berikut :

$$M_n = A_s f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f'_c b} \right)$$

Keterangan :

P_n = Kuat aksial nominal

M_n = Kuat momen nominal

f'_c = Kuat tekan beton

f_y = Kuat leleh tulangan

b = Lebar bersih balok

d = Tinggi bersih balok

A_s = Luasan bersih penampang tulangan

3.6.3. Dimensi Dinding Geser

Untuk mendesain dinding geser, yang perlu lebih diperhatikan adalah kuat gesernya. Hal ini karena pemanfaatan utama dinding geser untuk menahan gaya lateral yang di akibatkan oleh angin dan terutama gempa. Menurut Cormac dalam bukunya, untuk dinding geser harus memenuhi 13 persyaratan. Berikut persyaratan tersebut :

1. Geser balok berfaktor harus sama dengan atau kurang dari kuat geser dinding.

$$V_u \leq \phi V_n$$

2. Kuat geser desain dinding sama dengan kuat geser desain beton ditambah kuat geser desain tulangan geser.

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

3. Kuat geser V_n pada semua penampang horizontal di bidang datar dinding tidak boleh lebih besar dari $10\sqrt{f'c} \, hd$.
4. Dalam melakukan desain gaya geser horizontal pada bidang datar dinding, nilai d diambil sebesar $0,81 \, l_w$, di mana l_w adalah panjang horizontal dinding antara permukaan penopang vertikal, kecuali bila nilai d terbukti lebih besar melalui analisis kompatibilitas regangan.
5. Kecuali ada perhitungan yang lebih detail (seperti yang dijelaskan pada paragraf berikut), nilai kuat geser nominal V_c yang digunakan tidak boleh lebih besar dari $2\sqrt{f'c} \, hd$ untuk dinding yang menerima beban tekan aksial berfaktor N_u . Jika dinding menerima beban tarik N_u , nilai V_c tidak boleh lebih besar dari nilai yang di sebutkan dari persamaan berikut :

$$V_c = \left(1 + \frac{0,3N_u}{A_g} \right) \frac{\sqrt{f'c}}{6} b_w d$$

6. Dengan menggunakan analisis yang lebih detail, nilai V_c yang diambil adalah nilai yang lebih kecil dari hasil substitusi kepada dua persamaan berikut, dimana N_u adalah beban aksial berfaktor yang normal terjadi pada penampang melintang dinding secara simultan dengan V_u , N_u dianggap positif untuk tekan dan negatif untuk tarik.

$$V_c = \frac{1}{4} \sqrt{f'_c} h d + \frac{N_u d}{4 l_w}$$

atau

$$V_c = \left[\frac{1}{2} \sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(\sqrt{f'_c} + 2 \frac{N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] \frac{h d}{10}$$

7. Nilai V_c yang dihitung dari dua persamaan sebelumnya pada jarak $l_w/2$ atau $h_w/2$ dari dasar dinding (ambil nilai terkecil) diterapkan pada semua penampang di antara potongan penampang ini dan satu pada dasar dinding.
8. Jika geser berfaktor V_u kurang dari $\Phi V_c/2$ yang penjelasan perhitungannya telah dijelaskan pada dua paragraf sebelumnya, tulangan horizontal minimum maupun tulangan vertikal minimum tidak diperlukan.
9. Jika gaya geser berfaktor V_u melebihi kuat geser ΦV_c , nilai V_c ditentukan dari rumus berikut, di mana A_v adalah luas tulangan geser horizontal dan s_2 adalah jarak tulangan geser atau puntir pada arah tegak lurus tulangan horizontal.

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s_2}$$

10. Jumlah tulangan geser horizontal ρ_h (sebagai persentase luas kotor vertikal beton) tidak boleh kurang dari 0,0025.
11. Jarak maksimum tulangan geser horizontal s_2 tidak boleh lebih besar dari $l_w/5$, $3h$, atau 18 inci.

12. Jumlah tulangan geser vertikal ρ_n (sebagai persentase luas kotor horizontal beton) tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh persamaan berikut, di mana h_w adalah tinggi total dinding.

$$\rho = 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_h - 0,0025)$$

13. Jarak maksimum tulangan geser vertikal s_1 tidak boleh lebih besar dari $l_n/3$, $3h$, atau 18 inci.

3.6.4. Dimensi Pelat

Untuk mendesain pelat, perlu lebih diperhatikan bahwa elemen ini menggunakan beton pracetak. Hal ini karena kelebihan-kelebihan yang ditawarkan oleh tipe beton pracetak. Pada buku PCI design handbook, terdapat berbagai macam pracetak untuk pelat. Variabel yang perlu lebih diperhatikan adalah beban rencana yang diderita pelat (pounds per square foot). Jenis yang dipakai pada desain ini adalah *solid flat slab*.

3.6.5. Dimensi Tangga

Untuk pelat dari anak tangga akan menggunakan beton pracetak dengan pilihan tipe yang sama dengan pelat. Perencanaan tangga didesain dengan mengasumsikan perletakan yang digunakan adalah sendi – rol. Syarat perencanaan tangga harus memenuhi syarat berikut ini :

$$64 \leq 2.t + i \leq 65$$

$$20 \leq \alpha \leq 40$$

Keterangan :

- i = Lebar injakan
- t = Tinggi injakan
- α = Kemiringan tangga

3.6.6. Dimensi Pondasi

Untuk pondasinya di gunakan jenis pondasi tiang. Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_f). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Disamping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang di tanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut. Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu :

- Daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri
- Daya dukung tiang pancang dalam kelompok.

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) menurut Luciano Decourt (1982).

$$Q_l = Q_p + Q_s$$

dengan :

$$Q_p = q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$$

Keterangan :

N_p = Harga rata-rata SPT di sekitar 4B di atas hingga 4 B di bawah dasar tiang pondasi
 K = Koefisien karakteristik tanah
= 12 t/m^2 , untuk tanah lempung

$= 20 \text{ t/m}^2$, untuk tanah lanau berlempung
 $= 25 \text{ t/m}^2$, untuk tanah lanau berpasir
 $= 40 \text{ t/m}^2$, untuk tanah pasir

Ap = Luas penampang dasar tiang

qp = Tegangan di ujung tiang

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s$$

Keterangan :

qs = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m^2

Ns = Harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam,
dengan batasan : $3 \leq N \leq 50$

As = Keliling x panjang tiang yang terbenam

Daya dukung ijin dari satu tiang pancang yang berdiri sendiri adalah daya dukung tiang total dibagi dengan suatu angka keamanan.

$$Q_{\text{ijin 1 tiang}} = \frac{Q_u}{SF}$$

Keterangan :

SF = safety factor = 3

N' = harga SPT di lapangan

N = harga SPT setelah dikoreksi

$$= 15 + [(N' - 15) / 2]$$

3.7. Beton Pracetak

Beton pracetak adalah elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan (pasal 3.3.10, SNI 7833-2012).

3.7.1 Balok Pracetak

Balok merupakan elemen struktur lentur, yang artinya beban paling kritis elemen terletak pada kelenturannya. Persyaratan desain balok pracetak terdiri dari berbagai macam peraturan dan berbagai macam kontrol. Berikut beberapa persyaratan diantaranya.

3.7.1.1 Tebal minimum balok non-prategang

Berikut merupakan tabel minimum balok non-prategang pada peraturan.

Tabel 3.1. Tabel minimum balok non-prategang

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak mendukung atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	1 / 20	1 / 24	1 / 28	1 / 10
Balok atau pelat berusuk satu -arah	1 / 16	1 / 18,5	1 / 21	1 / 8
CATATAN : Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut. a) Untuk struktur beton ringan dengan densitas W_c antara 1440 kg/m ³ dan 1840 kg/m ³ , nilai harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003 W_c)$, tapi tidak kurang dari 1,09. b) Untuk f_y selain 420 Mpa, nilai harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$				

3.7.1.2 Lendutan maksimum terhitung yang diijinkan

Tabel 3.2. Lendutan maksimum terhitung yang diijinkan

Jenis komponen struktur	Lendutan terhitung	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (<i>L</i>)	1 / 180*
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (<i>L</i>)	1 / 360
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen non-struktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup)†	1 / 480‡
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar		1 / 240§
* Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemudian penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan,		

termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut, toleransi konstruksi dan keandalan sistem drainase.

† Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 5.2.7.1.4 atau ketentuan 5.2.7.1.5 tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan elemen non-struktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.

‡ Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap elemen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.

§ Batas tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktural. Batas ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.

3.7.2 Pelat Pracetak

Pelat merupakan elemen struktur sekunder, yang artinya struktur tidak memikul beban utama dari gedung tapi menyalurkan beban injakan yang nantinya disalurkan kepada rangka struktur utama. Pada perancangan struktur tugas akhir, penulis akan membuat desain pelat menjadi relatif sama. Struktur asli memiliki 8 tipe pelat, pada perancangan kali ini akan di sederhanakan menjadi 4 macam tipe pelat. Persyaratan desain pelat pracetak terdiri dari berbagai macam peraturan dan berbagai macam kontrol. Berikut beberapa persyaratan diantaranya.

1. Pada pelat dengan tendon tanpa lekatan, tulangan dengan lekatan harus disediakan sesuai dengan pasal 6.9.3 dan 6.9.4 (pasal 6.12.5, SNI 7833-2012).
2. Untuk sistem pelat dua-arah, luas minimum dan penyebaran tulangan lekatan harus mengikuti 6.9.3.1, 6.9.3.2 dan 6.9.3.3 (pasal 6.9.3, SNI 7833-2012).
3. Tulangan lekatan tidak perlu disyaratkan di daerah momen positif dimana tegangan f_t sebagai tegangan serat tarik terluar dalam zona tarik pra-kompresi pada beban layan, (setelah dikurangi semua kehilangan prategang), tidak melebihi $0,17\sqrt{f'c}$ (pasal 6.9.3.1, SNI 7833-2012)
4. Pada daerah momen positif di mana tegangan tarik terhitung dalam beton pada beban layan melebihi $0,17\sqrt{f'c}$, luas minimum dari tulangan lekatan harus dihitung berdasarkan. (pasal 6.9.3.2, SNI 7833-2012)

$$A_s = \frac{N_c}{0,5 f_y}$$

Keterangan :

A_s = Luas tulangan tarik longitudinal non-prategang (mm^2).

N_c = Gaya tarik dalam beton akibat beban mati tak terfaktor ditambah beban hidup (N).

f_y = Kekuatan leleh tulangan yang di syarkan (MPa).

5. Dalam daerah momen negatif pada kolom penumpu, luas minimum tulangan lekatan A_s pada atas pelat di masing - masing arah harus dihitung dengan (pasal 6.9.3.3, SNI 7833-2012).

$$A_s = 0,00075 A_{ct}$$

Keterangan :

A_s = Luas tulangan tarik longitudinal non-prategang (mm^2).

A_{ct} = Luas penampang bruto terbesar dari lajur pelat - balok di dua portal ekivalen ortogonal yang berpotongan pada kolom di pelat dua arah (mm^2)

3.7.3 Sambungan Elemen Pracetak

Sambungan adalah daerah yang menghubungkan dua komponen atau lebih. Dalam Pasal 7, sambungan juga mengacu pada daerah yang menghubungkan komponen-komponen struktur yang satu atau lebih dan merupakan komponen pracetak, dimana definisi spesifik berikut diterapkan. (SNI 7288-2012 pasal 3.3.62):

1. Sambungan daktail adalah sambungan yang mengalami leleh akibat perpindahan desain gempa. (SNI 7288-2012, pasal 3.3.62.1)
2. Sambungan kuat adalah sambungan yang tetap elastis sementara komponen struktur yang digabungkannya mengalami pelelehan akibat perpindahan desain gempa. (SNI 7288-2012, pasal 3.3.62.2)

Pada SNI 7833-2012 menjelaskan 2 poin utama tentang desain sambungan dan tumpuan elemen pracetak. Berikut dua pasal utama pada SNI yang menjelaskan tentang desain sambungan.

1. Gaya - gaya boleh disalurkan antara komponen struktur dengan joint yang digROUT, kunci geser, konektor

mekanis, sambungan baja tulangan, topping bertulang, atau kombinasi dari cara - cara tersebut.

- 1.1. Kemampuan sambungan untuk menyalurkan gaya - gaya antara komponen struktur harus ditentukan dengan analisis atau dengan pengujian. Ketentuan pasal 11.6 ACI 318-08 harus diterapkan, apabila geser merupakan pembebanan utama.
- 1.2. Bila desain sambungan menggunakan material dengan sifat struktural yang berbeda, maka kekakuan, kekuatan, dan daktilitas relatifnya harus diperhitungkan.
2. Tumpuan untuk komponen lantai dan atap pracetak di atas perletakan sederhana harus memenuhi 2 poin berikut kecuali poin ketiga.
 - 2.1. Tegangan tumpu ijin di permukaan kontak antara komponen yang didukung dan yang mendukung dan antara masing-masing elemen-elemen pendukung menengah tidak boleh melebihi kekuatan tumpu untuk permukaan dan elemen pendukung, atau keduanya. Kekuatan tumpu beton harus sesuai dengan poin 2.1.1 berikut.
 - 2.1.1. Kekuatan tumpu desain beton tidak boleh melebihi $\phi(0,85f'_cA_1)$, kecuali bila permukaan pendukung lebih lebar pada semua sisi dari luas yang dibebani, maka kekuatan tumpu desain dari luas yang dibebani diijinkan dikalikan dengan $\sqrt{A_2/A_1}$ tetapi tidak boleh melebihi 2.
 - 2.1.2. Poin 2.1.1 tidak berlaku bagi angkur pasca-tarik.

2.2. Kecuali bila dapat dibuktikan melalui pengujian atau analisis bahwa kinerja sambungan dan tumpuan tidak berkurang, (a) dan (b) harus dipenuhi :

- (a) Setiap komponen struktur dan sistem pendukungnya harus mempunyai dimensi desain yang dipilih sedemikian hingga setelah memperhitungkan toleransi, jarak dari tepi tumpuan ke ujung komponen struktur pracetak pada arah bentang sedikitnya $l_n / 180$, tetapi tidak boleh kurang dari :

Untuk pelat masih atau berongga 50 mm

Untuk balok atau komponen struktur tertahan..... 75 mm

- (b) Pelat tumpuan pada tepi yang tidak dilapisi baja harus mempunyai *set back* minimum 13 mm dari muka penumpu, atau paling sedikit sebesar dimensi penumpulan (*chamfer*) pada tepi yang ditumpulkan.

2.3. Persyaratan poin 2.3.1. berikut tidak berlaku untuk tulangan momen lentur positif pada komponen struktur pracetak statis tertentu, tetapi paling sedikit sebesar sepertiga dari tulangan tersebut harus diteruskan sampai ke tengah panjang tumpuan, dengan memperhitungkan toleransi yang diijinkan dalam pasal 2.3.2 dan SNI 7833-2012 pasal 4.2.3.

2.3.1. Sekurang - kurangnya sepertiga tulangan momen positif komponen struktur sederhana dan seperempat tulangan momen positif pada

komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama masuk kedalam pendukung. Pada balok, tulangan semacam itu harus diteruskan masuk kedalam pendukung sekurang-kurangnya 150 mm.

2.3.2. Toleransi untuk penempatan pembengkokan longitudinal dan ujung tulangan harus diambil sebesar ± 50 mm, kecuali toleransi untuk ujung-ujung yang tidak menerus dari konsol pendek dan konsol diambil sebesar ± 13 mm, dan untuk ujung - ujung komponen struktur lainnya yang tidak menerus diambil sebesar ± 25 mm. Toleransi untuk selimut beton dari 2.3.3. juga berlaku pada ujung - ujung komponen struktur yang tidak menerus.

2.3.3. Toleransi untuk d dan untuk selimut beton pada komponen struktur lentur, dinding, dan komponen struktur tekan harus sesuai Tabel berikut. Kecuali toleransi untuk jarak bersih untuk membentuk *soffit* harus dikurangi sebesar 6 mm. Sebagai tambahan, toleransi untuk selimut juga tidak boleh melebihi minus $1/3$ selimut beton yang disyaratkan dalam gambar desain dan spesifikasi proyek.

Tabel 3.3. Toleransi pada d dan selimut beton

	Toleransi pada d	Toleransi pada selimut beton yang disyaratkan
$d \leq 200$ mm	± 10 mm	- 10 mm
$d > 200$ mm	± 13 mm	- 13 mm


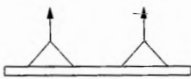
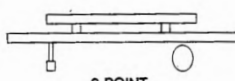
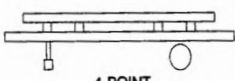
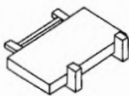
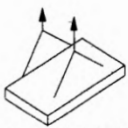
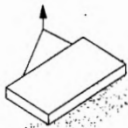
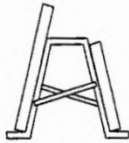
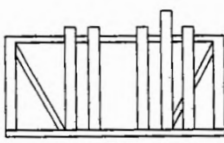

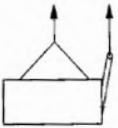
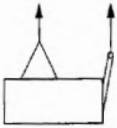
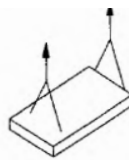
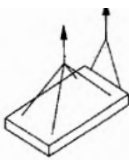
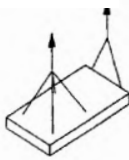
3.7.4 Penanganan Elemen Pracetak

Penanganan pracetak merupakan tahapan penting pada keseluruhan pembangunan proyek. Hal ini karena elemen - elemen pracetak membutuhkan perilaku penanganan khusus dan berbeda pada penanganan elemen beton cor di tempat. Apabila ada kerusakan atau kekurangan pada saat penanganan bisa memberikan dampak yang berpengaruh pada keseluruhan pekerjaan struktur. Beberapa hal pada tahapan penanganan dapat mempengaruhi kekuatan dari pracetak, beberapa diantaranya berdasar PCI Design Hand book edisi 5.

1. Pengangkatan
 - a. Cara pengangkatan dominan (Horizontal, vertikal atau kemiringan di antaranya)
 - b. Faktor pengali kekuatan
 - c. Jumlah alat penanganan
 - d. Berat elemen - elemen pracetak
2. Penyimpanan
 - a. Bentuk dari elemen
 - b. Tata letak dari perletakan sementara
 - c. Tata letak perletakan secara bertingkat
 - d. Tata letak terhadap pencahayaan matahari
3. Transportasi
 - a. Bentuk dari elemen
 - b. Lokasi dari perletakan horizontal dan vertikal
 - c. Kondisi dari kendaraan transportasi, jalan dan lapangan
 - d. Kemungkinan guncangan saat pemindahan
4. Pemasangan
 - a. Lokasi titik pengangkatan

- b. Pengarahan saat rotasi
- c. Perletakan sementara di lokasi

Tabel 3.4. Tipe metode penanganan

Pengangkatan	 2 POINT  4 POINT
Penyimpanan	 2 POINT  4 POINT
Perputaran	 TURNING RIG  2 CRANE LINES ROTATE IN AIR  SAND BED
Penyimpanan akhir dan transportasi	 "A" FRAME  VERTICAL RACK
Pemasangan	   <p>Catatan : Harus diperhatikan bahwa pengangkatan beban oleh tali <i>crane</i> di bagian atas elemen</p>   

3.8. Analisa Pembebanan

Pembebanan pada tugas akhir ini di ambil dari peraturan SNI 2847-2013. Berdasar peraturan, ada 4 poin yang menjelaskan tentang pembebanan secara umum. Adapun pasal yang mengatur tentang kombinasi kekuatan perlu. Pasal 9.2.1 pada SNI 2847-2013 tertulis bahwa, kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor dalam persamaan - persamaan berikut :

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$$

$$U = 0,9 D + 1,0 W$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E$$

Keterangan :

U = Kekuatan Perlu

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

L_r = Beban Hidup Atap

R = Beban Hujan

W = Beban Angin

3.8.1. Beban Mati

Beban mati yang digunakan pada perancangan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 2.1.

3.8.2. Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan pada perancangan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 3.1.

3.8.3. Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan pada perancangan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1726-2012 (SNI 1726-2012), adapun tahapan umumnya sebagai berikut :

1. Menentukan nilai spektra percepatan S_s dan S_1 .
2. Menentukan kategori resiko bangunan & faktor keutamaan.
3. Menentukan koefisien situs, F_a dan F_v .
4. Menentukan spektral respons percepatan SD_s dan SD_1 .
5. Periode waktu getar alami fundamental (T).
6. Koefisien respon seismik (C_s)
7. Perhitungan gaya geser dasar.
8. Gaya seismik lateral
9. Kontrol drift
10. Kontrol sistem ganda

3.8.4. Beban Angin

Beban angin yang digunakan pada perancangan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada pasal 4.2. (45 kg/m^2).

BAB IV

PRELIMINARY DESAIN

Dalam merencanakan suatu gedung, di perlukan perancangan awal untuk menentukan dimensi kasar gedung terlebih dahulu. Berikut perkiraan dimensi kasar gedung.

4.1. Data Perencanaan

Type Bangunan	: Apartemen (24 lantai)
Letak Bangunan	: Dekat pantai
Spektrum Gempa	: $S_s = 0,6- 0,7 \text{ g}$; $S_1 = 0,275 \text{ g}$
Lebar Bangunan	: 49 m
Panjang Bangunan	: 84,1 m
Tinggi Bangunan	: 76,8 m
Mutu Beton (f'_c)	: 30 MPa
Mutu Baja (f_y)	: 410 MPa

4.2. Perencanaan Dimensi Balok, Pelat, Kolom, dan Tangga

Dengan mutu baja = 410 MPa dan mutu beton = 30 MPa direncanakan dimensi pelat, tangga, balok dan kolom sebagai berikut :

4.2.1. Balok

Penentuan tinggi balok minimum (h_{\min}) dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 Tabel 9.5(a) dimana bila persyaratan ini telah dipenuhi maka tidak perlu dilakukan kontrol lendutan.

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \dots f_y \text{ selain } 420\text{Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \dots f_y = 420\text{Mpa}$$

➤ **Balok Induk Arah Memanjang : L = 800 cm**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{fy}{700} \right) = \frac{800}{16} \left(0,4 + \frac{410}{700} \right) \\ = 49,3 \text{ cm} \approx \text{dipakai } h = 55 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \times 55 = 36,67 \text{ cm} \approx \text{dipakai } b = 40 \text{ cm}$$

Direncanakan dimensi balok induk memanjang **40/55 cm**.

➤ **Balok Induk Arah Memanjang : L = 750 cm**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{fy}{700} \right) = \frac{750}{16} \left(0,4 + \frac{410}{700} \right) \\ = 46,2 \text{ cm} \approx \text{dipakai } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \times 50 = 33,33 \text{ cm} \approx \text{dipakai } b = 35 \text{ cm}$$

Direncanakan dimensi balok induk memanjang **35/50 cm**.

➤ **Balok Induk Melintang : L = 500cm**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{fy}{700} \right) = \frac{500}{16} \left(0,4 + \frac{410}{700} \right) \\ = 30,8 \text{ cm} \approx \text{dipakai } h = 35 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \times 35 = 23,33 \text{ cm} \approx \text{dipakai } b = 25 \text{ cm}$$

Direncanakan dimensi balok induk melintang **25/35 cm**.

➤ **Balok Induk Melintang : L = 270 cm**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{fy}{700} \right) = \frac{405}{16} \left(0,4 + \frac{410}{700} \right)$$

$$= 24,95 \text{ cm} \approx \text{dipakai } h = 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \times 30 = 20 \text{ cm} \approx \text{dipakai } b = 20 \text{ cm}$$

Direncanakan dimensi balok induk melintang **20/30 cm**.

➤ **Balok Anak : L = 540cm**

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) = \frac{540}{16} \left(0,4 + \frac{410}{700} \right)$$

$$= 17,27 \text{ cm} \approx \text{dipakai } h = 20 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \times 20 = 13,33 \text{ cm} \approx \text{dipakai } b = 15 \text{ cm}$$

Direncanakan dimensi balok induk melintang **15/20 cm**.

4.2.2. Pelat

Untuk memenuhi syarat lendutan, ketebalan minimum dari pelat harus memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3, yaitu:

- $\alpha_m \leq 0.2$ menggunakan $h = 125 \text{ mm}$
- $0.2 \leq \alpha_m \leq 2$

$$h = \frac{\lambda_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0.2)}$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- $\alpha_m > 2$

$$h = \frac{\lambda_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Dimana:

λ_n = panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah

β = rasio bentang bersih dalam dalam arah memanjang terhadap arah memendek pada pelat dua arah

α_m = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel

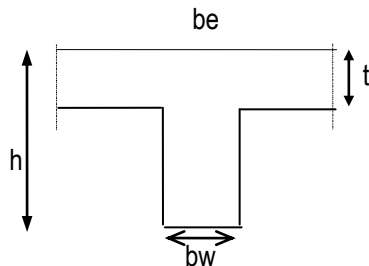
f_y = mutu tulangan baja (MPa)

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 8.12.2 dan pasal 8.12.3 disebutkan beberapa kriteria menentukan lebar efektif (b_e) dari balok T.

Interior

$$b_{e1} = \frac{1}{4} L_b$$

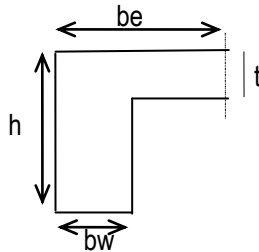
$$b_{e2} = b_w + 8t$$



Eksterior

$$be1 = \frac{1}{12} Lb$$

$$be2 = bw + 6t$$



Dimana:

be = lebar efektif, harga minimum (cm)

bw = lebar balok (cm)

t = tebal rencana pelat (cm)

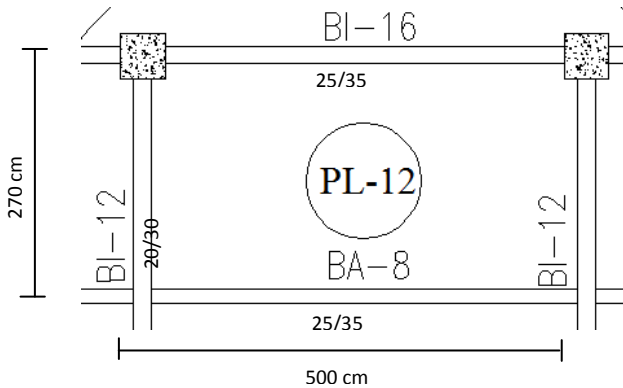
h = tinggi balok (cm)

Untuk menentukan tebal pelat diambil satu macam pelat :

Tipe Pelat dengan dimensi 270 cm x 500 cm

Bentang memanjang (ly) = 500 cm

Bentang memendek (lx) = 270 cm



Gambar 4.1. Gambar detail pelat

$$Ln = 500 - \left(\frac{20}{2} + \frac{30}{2} \right) = 475 \text{ cm}$$

$$Sn = 270 - \left(\frac{25}{2} + \frac{35}{2} \right) = 240 \text{ cm}$$

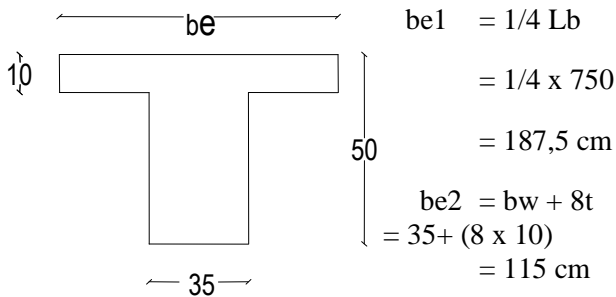
$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{475}{240} = 1,979 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

Perhitungan Tebal Pelat

Contoh perhitungan menggunakan pelat dengan dimensi 270 cm x 500 cm dimana pelat bertumpu pada tiga balok eksterior dan satu balok interior.

Direncanakan menggunakan ketebalan pelat 10 cm.

Untuk pelat yang dijepit balok 25/35 dengan panjang 500 cm



$$be1 = be2$$

Sehingga $be1 = be2 = 115 \text{ cm}$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw}\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{115}{35}\right) \left(\frac{10}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{10}{50}\right) + 4 \left(\frac{10}{50}\right)^2 + \left(\frac{115}{35} - 1\right) \left(\frac{10}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{115}{35} - 1\right) \left(\frac{10}{50}\right)}$$

$$= 2.02$$

Moment Inersia penampang balok T :

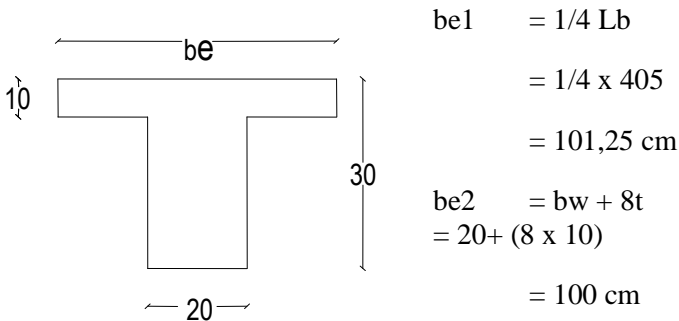
$$Ib = \frac{1}{12} \times 35 \times 50^3 \times 2,02 = 736.458,33 \text{ cm}^4$$

Moment inersia lajur plat :

$$I_s = \frac{1}{12} x b s x t^3 = \frac{1}{12} x 730 x 10^3 = 60.833,33 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_s} = \frac{736.458,33}{60.833,33} = 12,1$$

Untuk pelat yang dijepit balok 20/30 dengan panjang 405 cm



$be1 < be2$

Sehingga $be1 = be2 = 100 \text{ cm}$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{100}{20}\right) \left(\frac{10}{30}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{10}{30}\right) + 4 \left(\frac{10}{30}\right)^2 + \left(\frac{100}{20} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{100}{20} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)}$$

$$= 2.28$$

Moment Inersia penampang balok T :

$$I_b = \frac{1}{12} \times 20 \times 30^3 \times 2.28 = 102.600 \text{ cm}^4$$

Moment inersia lajur plat :

$$I_s = \frac{1}{12} \times b \times t^3 = \frac{1}{12} \times 370 \times 10^3 = 30.833,33 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_s} = \frac{102.600}{30.833,33} = 3,327$$

$$\alpha_m = \frac{1}{4} (12,1 + 12,1 + 3,327 + 3,327) = 7,7135 > 2$$

Karena $\alpha_m > 2$ maka perletakan pelat adalah jepit penuh.

$$h = \frac{\lambda_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{730 \left(0.8 + \frac{410}{1400} \right)}{36 + (9 \times 1,973)} = 14,84 \text{ cm}$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Dipakai tebal pelat lantai = 150 mm

4.2.3. Kolom

Pada perencanaan, kolom yang mengalami pembebanan paling besar adalah kolom yang memikul pelat luas 600 cm x 800 cm.

Tebal pelat rencana : untuk lantai = 15 cm = 150 mm

Tinggi tiap tingkat : untuk lantai basement = 365 cm

untuk lantai 1 & 2 = 400 cm

untuk lantai 3 = 520 cm

untuk lantai 4 s/d 23 = 300 cm

untuk lantai 24 = 360 cm

Berdasarkan *PPIUG 1983 tabel 2.1* :

➤ **Beban Mati**

Elemen	Perhitungan	Berat (kg)
Pelat Lantai	$5,5 \times 6,75 \times 0,15 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 24 \text{ tingkat}$	320.760
Plafon	$5,5 \times 6,75 \times 11 \text{ Kg/m}^2 \times 24 \text{ tingkat}$	9.801
Penggantung	$5,5 \times 6,75 \times 7 \text{ Kg/m}^2 \times 24 \text{ tingkat}$	6.237
Balok Induk	$5,5 \times 0,25 \times 0,35 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 24 \text{ tingkat}$	27.720
	$6,75 \times 0,35 \times 0,5 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 24 \text{ tingkat}$	68.040
Balok Anak	$(2,85 \times 2 + 1,9 \times 2 + 5,5) \times 0,25 \times 0,35 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 24 \text{ tingkat}$	3.150
Dinding	$5,5 \times 250 \text{ Kg/m}^2 \times 5 \text{ m} \times 23 \text{ tingkat}$	6.875
Spesi (2 cm)	$5,5 \times 6,75 \times 0,02 \times 2100 \text{ Kg/m}^3 \times 24 \text{ tingkat}$	37.422

Ubin (1 cm)	$5,5 \times 6,75 \times 0,01 \times 2400$ Kg/m ³ x 24 tingkat	21.384
Daking plumbing	$5,5 \times 6,75 \times 30$ Kg/m ² x 24 tingkat	26730
	Berat Total	679.369

Berdasarkan PPIUG 1983 tabel 3.1

➤ **Beban Hidup**

$$\text{Atap} = 5,5 \times 6,75 \times 100 \text{ kg/m}^2 \times 1 = 3.712,5 \text{ kg}$$

$$\text{Lantai} = 5,5 \times 6,75 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 23 = 213.468,75 \text{ kg}$$

$$\text{Berat Total} = 217.181,25 \text{ kg}$$

Koefisien reduksi untuk beban hidup (PPIUG Tabel 3.4) = 0,9

$$\text{Jadi total beban hidup} \rightarrow \text{LL} = 0,9 \times 217.181,25 \text{ kg} \\ = 195.463,125 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi berat total} \rightarrow W = 1,2 \times \text{DL} + 1,6 \times \text{LL} \\ = 1,2 (679.369) + 1,6 (195.463,125) \\ = 1.162.732,8 \text{ kg}$$

$$\text{Mutu Beton} = 30 \text{ MPa} = 306 \text{ Kg/cm}^2 \quad (1 \text{ Mpa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2)$$

$$\phi P_n(\text{max}) = 0,8 \phi [(0,85 \cdot f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] ; A_{st} = 1,5\% A_g$$

$$\text{Dimensi : } A_g = \frac{P_n}{0,8 * ((0,85 * 30 * 98,5\%) + 410 * 1,5\%)} =$$

$$\frac{1.162.732,8}{25,014} = 46483,28 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dimensi : } b^2 = 46483,28 \text{ cm}^2$$

$$b = 215,599 \approx 216 \text{ cm}$$

Jadi dimensi kolom digunakan **216/216 cm**

4.2.4 Perencanaan Dimensi Dinding Geser

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.3.1 menyatakan bahwa tebal dinding penumpu tidak boleh kurang dari $1/25$ tinggi atau panjang bentang tertumpu, yang mana yang lebih pendek, atau tidak kurang dari 100 mm.

Direncanakan :

Tebal dinding geser = 30 cm & 35 cm

Panjang dinding geser

Tipe SW 1 = 550 cm

Tipe SW 2 = 580 cm

Tipe SW 3 = 550 cm

Tipe SW 4 = 580 cm

Tipe SW 5 = 800 cm

Tinggi dinding geser per lantai = 300 cm

Syarat

$$300 \text{ mm} \geq \frac{L_{sw1\&3}}{25} = \frac{5500}{25} = 220 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} \geq \frac{L_{sw2\&4}}{25} = \frac{5800}{25} = 232 \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} \geq \frac{L_{sw5}}{25} = \frac{8000}{25} = 320 \text{ mm}$$

Jadi, tebal dinding geser yang direncanakan untuk tipe dinding geser arah horizontal sebesar 35 cm dan arah vertikal sebesar 30 cm.

4.2.5. Tangga

Lebar Tangga	: 300 cm
Lebar Bordes	: 130 cm
Tebal plat dasar tangga	: 15 cm
Tebal plat dasar bordes	: 15 cm
Tinggi Tanjakan	: 15 cm
Lebar Injakan	: 30 cm

➤ **Tangga (tinggi 3m)**

Syarat perencanaan injakan dan tanjakan tangga serta kemiringan tangga sebagai berikut :

$$60 \leq (2t + i) \leq 65$$

direncanakan tinggi tanjakan (t) = 15 cm

sehingga injakan (i) = 30 cm.

$$60 \leq ((2 \times 15) + 30) \leq 65$$

$$60 \leq 60 \leq 65 \text{(OK)}$$

$$\text{Jumlah tanjakan (nt)} = 150 \text{ cm} / 15 \text{ cm} = 10 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah injakan (ni)} = nt - 1 = 10 - 1 = 9 \text{ buah}$$

$$\text{Syarat kemiringan tangga} \rightarrow 25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

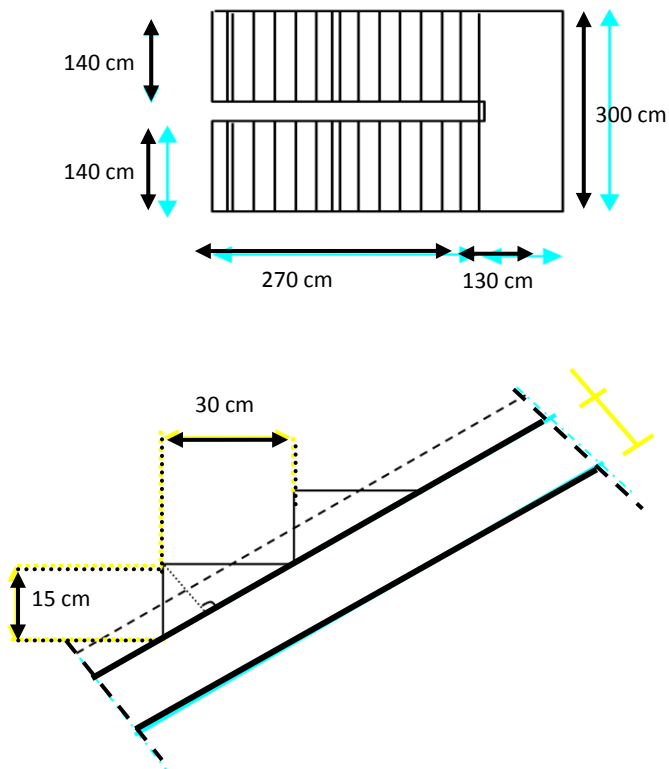
$$\text{Sudut tangga } (\alpha) = \arctan (15/30) = 26.56^\circ \text{ (OK)}$$

$$\text{Tebal bordes} = 15 \text{ cm} \approx 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Lebar bordes} = 130 \text{ cm} \approx 1,3 \text{ m}$$

$$\text{Tebal tangga} = 15 \text{ cm} \approx 0,15 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal rata-rata} &= (i / 2) \cdot \sin \alpha \\
 &= (0.3 / 2) \times \sin 26.56^\circ = 0,067 \text{ m} \\
 \text{Tebal total} &= 0.15 + 0.067 = 0.217 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2. Gambar detail tangga

BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

5.1. Perencanaan Pelat

5.1.1. Pembebanan Pelat

5.1.1.1. Pelat Lantai

Sebelum Komposit

- Beban Mati (DL)

Berat Sendiri	=	$0,08 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	192 kg/m^2
Berat topping	=	$0,05 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	$\underline{120 \text{ kg/m}^2} +$
				312 kg/m^2
- Beban Hidup (LL)

Beban kerja	=	$20\% \times \text{berat topping}$
	=	$20\% \times 336 \text{ kg/m}^2$
	=	$67,2 \text{ kg/m}^2$

Sesudah Komposit

- Beban Mati (DL)

Berat sendiri	=	$0,15 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	360 kg/m^2
Plafond+Pengan tung	=	$11 + 7$	=	18 kg/m^2
Ubin (t=2cm)	=	$0,02 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	48 kg/m^2
Spesi (t=2cm)	=	$0,02 \times 2100 \text{ kg/m}^3$	=	42 kg/m^2
Ducting Ac + Pipa			=	$\underline{40 \text{ kg/m}^2}$
				508 kg/m^2
- Beban Hidup (LL)

Beban Kerja	=	250 kg/m^2
-------------	---	----------------------

5.1.1.2. Pelat Atap

Sebelum Komposit

➤ Beban Mati (DL)

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri} &= 0,08 \text{m} \times 2400 \text{kg/m}^3 &= 192 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat topping} &= 0,02 \text{m} \times 2400 \text{kg/m}^3 &= \frac{48 \text{ kg/m}^2}{240 \text{ kg/m}}\end{aligned}$$

➤ Beban Hidup (LL)

$$\begin{aligned}\text{Beban kerja} &= 20\% \times \text{berat topping} \\ &= 20\% \times 336 \text{ kg/m}^2 \\ &= 67,2 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

Sesudah Komposit

➤ Beban Mati (DL)

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri} &= 0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 &= 288 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Plafond+} &= 11 + 7 &= 18 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Pengantung} &= &= \\ \text{Spesi (t=2cm)} &= 0,02 \times 2100 \text{ kg/m}^3 &= 42 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Ducting Ac + Pipa} &= &= \frac{40 \text{ kg/m}^2}{388 \text{ kg/m}^2}\end{aligned}$$

➤ Beban Hidup (LL)

$$\text{Beban Kerja} = 100 \text{ kg/m}^2$$

▪ Kombinasi Pembebanan Pelat

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 9.2 didapatkan kombinasi pembebanan berupa :

$$Q_u = 1,2 D_L + 1,6 q_L$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan pelat lantai:

▪ Keadaan 1, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 \times 192 + 1,6 \times 67,2 = 337,92 \text{ kg/m}^2$$

▪ Keadaan 2, topping telah terpasang

$$Q_u = 1,2 \times 312 + 1,6 \times 0 = 374,4 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 508 + 1,6 \times 250 = 1009,6 \text{ kg/m}^2$$

Serta perhitungan kombinasi pembebanan pelat atap :

- Keadaan 1, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 \times 192 + 1,6 \times 67,2 = 337,92 \text{ kg/m}^2$$
- Keadaan 2, topping telah terpasang

$$Q_u = 1,2 \times 240 + 1,6 \times 0 = 288 \text{ kg/m}^2$$
- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 388 + 1,6 \times 100 = 625,6 \text{ kg/m}^2$$

5.1.2. Penulangan Pelat

Perhitungan pelat digunakan pelat PL-12 dengan ukuran 2,7 m x 5 m yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya.

Berikut adalah contoh perhitungan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur pelat :

- Data - Data Perencanaan Pelat:
 - Dimensi pelat = 270 cm x 500 cm
 - Tebal pelat pracetak = 80 mm
 - Tebal overtopping = 70 mm
 - Tebal decking = 20 mm
 - Diameter tul. rencana = 10 mm
 - Mutu tul. Baja (f_y) = 410 MPa
 - Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
 - Kondisi sebelum komposit :

$$d_x = 80 - 20 - \frac{10}{2} = 55 \text{ mm}$$

- Kondisi sesudah komposit :

$$d_x = 150 - 20 - \frac{10}{2} = 125 \text{ mm}$$

- Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah :

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 && \text{jika } 17 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa} \\ \beta_1 &= 0,85 - 0,05((f'_c - 28)/7) && \text{jika } 28 \text{ MPa} \leq f'_c \\ \beta_1 &= 0,65 && \text{jika } 56 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Karena $f'_c = 30 \text{ MPa}$, maka :

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,008((30 - 28)/7) \\ &= 0,85 - 0,008(0,2857) \\ &= 0,8477 \approx 0,85\end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI 03-2847-2002 psl 10.4.3})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right) = 0,0314$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 psl 10.3 :

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0314 = 0,02355$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,0034$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{30}}{410} = 0,00334$$

ρ_{\min} dipilih yang terbesar yaitu 0,0034.

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2, tulangan susut dan suhu untuk pelat menggunakan batang tulangan ulir dengan mutu baja 410 MPa :

$$\rho_{susut} = 0.0018$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} = \frac{410}{0.85 \times 30} = 16,0784$$

Penulangan pelat digunakan penulangan satu arah, dimana penulangan tersebut diarahkan sepanjang pelat arah terpanjang. Penulangan pada tumpuan sama dengan pada lapangan, namun letak dari tulangan tariknya berbeda. Untuk daerah lapangan tulangan tarik berada di bawah, sedangkan pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas. Tulangan tumpuan dan tulangan lapangan direncanakan menggunakan tulangan dengan diameter tulangan 8 mm (D10 mm, $A_s = 78,5 \text{ mm}^2$).

- Perhitungan Penulangan Sebelum Komposit
Menentukan momen (M_u) yang bekerja pada pelat :

$$\begin{aligned} Q_u &= 337,92 \text{ kg/m} \\ M_{u\text{Tumpuan}} &= \frac{1}{16} \times Q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{16} \times 337,92 \times 5,4^2 \\ &= 615,859 \text{ kgm} \\ &= 6.158.592 \text{ Nmm} \\ M_{u\text{Lap}} &= \frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 337,92 \times 5,4^2 \\ &= 1231,718 \text{ kgm} \\ &= 12.317.184 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan Tumpuan:

$$R_n = \frac{Mu}{b.d^2} = \frac{6158592}{0,8 \times 800 \times 55^2} = 2,66$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16,0784} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,0784 \cdot 2,66}{410}} \right) \\ &= 0,00687\end{aligned}$$

maka :

$\rho_{\text{pakai}} = 0,00687$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00687 \times 800 \times 55 \\ &= 302,28 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD10}} \\ &= \frac{302,28}{78,5} \\ &= 3,85 \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned}S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000}{4} \\ &= 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.5 “ Jarak Tulangan Utama $\leq 3 \times$ tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D10 - 240 > As perlu.

Perhitungan tulangan Lapangan:

$$R_n = \frac{Mu}{b.d^2} = \frac{12317184}{0,8 \times 800 \times 55^2} = 2,537$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16,0784} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,0784 \cdot 2,537}{410}} \right) \\ &= 0,00658\end{aligned}$$

Syarat :

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dimana :

$0,0037 < 0,00658 < 0,02355 \rightarrow$ (OK!), maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,00658$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00658 \times 800 \times 55 \\ &= 289,52 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{Perlu}}}{A_{sD10}} \\ &= \frac{289,52}{78,5} \\ &= 3,688 \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned}S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000}{4} \\ &= 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.5 “ Jarak Tulangan Utama $\leq 3 \times$ tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

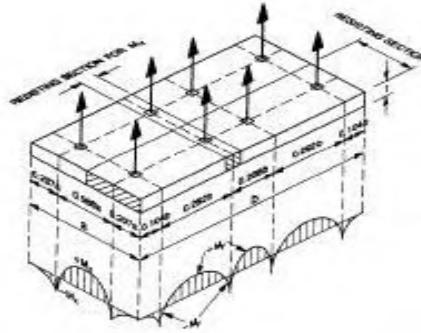
Jadi dipasang tulangan D10 - 240 > As perlu.

- Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku “*Precast and Prestressed Concrete*” figure 5.2.1. Dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, berikut perumusannya :

$$M_x = 0,0054 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0027 \times w \times a \times b^2$$



Gambar 5.1. Titik pengangkatan saat erection

Pada perencanaan pelat, digunakan tulangan satu arah yaitu pada arah x saja, maka perhitungan momen saat pengangkatan dihitung arah x.

Pada pelat tersebut diatas (250 x 540 cm), ditentukan :

$$a = 2,5 \text{ m}$$

$$b = 5,4 \text{ m}$$

$$w = 0,08 \times 2400 = 190 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } M_x &= 0,0054 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0054 \times 240 \times 2,5^2 \times 5,4 \\ &= 43,74 \text{ kgm} \\ &= 437.400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan Tumpuan:

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{437400}{0,8 \times 1000 \times 75^2} = 0,0972$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,0784} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,0784 \cdot 0,0972}{410}} \right)$$

$$= 0,00024$$

$$\rho_{\min} > \rho$$

0,0034 > 0,00024, maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0034$.

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s\text{Perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0034 \times 800 \times 55$$

$$= 149,6 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{Perlu}}}{A_{sD10}}$$

$$= \frac{149,6}{78,5}$$

$$= 1,9 \approx 2 \text{ buah}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$S = \frac{1000}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000}{2}$$

$$= 500 \text{ mm.}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.5 “ Jarak Tulangan Utama $\leq 3 \times$ tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D10 - 240 > As perlu.

▪ Perhitungan Penulangan Saat Overtopping

Menentukan momen (Mu) yang bekerja pada pelat :

$$Q_u = 374,4 \text{ kg/m}$$

$$Mu_{\text{Tumpuan}} = \frac{1}{16} \times Q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{16} \times 345,6 \times 5,4^2$$

$$= 629,856 \text{ kgm}$$

$$= 6298560 \text{ Nmm}$$

$$Mu_{\text{Lap}} = \frac{1}{8} \times Q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 345,6 \times 5,4^2$$

$$= 1.259,712 \text{ kgm}$$

$$= 12597120 \text{ Nmm}$$

Perhitungan tulangan Tumpuan:

$$R_n = \frac{Mu}{b.d^2} = \frac{6298560}{0,8 \times 1000 \times 75^2} = 1,4$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,0784} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,0784 \cdot 1,4}{410}} \right)$$

$$= 0,00351$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00351 \times 800 \times 55$$

$$= 154,44 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{D10}}}$$

$$= \frac{154,44}{1,967}$$

$$= 1,967 \approx 2 \text{ buah}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$S = \frac{1000}{n \text{ tulangan}}$$

$$= \frac{1000}{2}$$

$$= 500 \text{ mm.}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.5 “ Jarak Tulangan Utama $\leq 3 \times$ tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D10 - 240 > As perlu.

Perhitungan tulangan Lapangan:

$$R_n = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{12597120}{0,8 \times 1000 \times 75^2} = 2,8$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,0784} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,0784 \cdot 2,8}{410}} \right) \\ &= 0,00725\end{aligned}$$

Syarat :

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dimana :

$0,0034 < 0,00725 < 0,02355 \rightarrow$ (OK!), maka digunakan

$\rho_{\text{pakai}} = 0,0262$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00725 \times 800 \times 55 \\ &= 319 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{D10}}} \\ &= \frac{319}{78,5} \\ &= 4,063 \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned}S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000}{4} \\ &= 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.5 “ Jarak Tulangan Utama $\leq 3 \times$ tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 80 \text{ mm}$$

$$S \leq 240 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D10 - 240 > As perlu.

- Perhitungan Penulangan Setelah Komposit
Menentukan momen (Mu) yang bekerja pada pelat :

$$Q_u = 1009,6 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} Mu_{\text{Tumpuan}} &= \frac{1}{16} \times Q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{16} \times 1009,6 \times 5,4^2 \\ &= 1839,996 \text{ kgm} \\ &= 18.399.960 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu_{\text{Lap}} &= \frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 1009,6 \times 5,4^2 \\ &= 3679,992 \text{ kgm} \\ &= 36.799.920 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan Tumpuan:

$$R_n = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{18399960}{0,8 \times 1000 \times 125^2} = 1,472$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,0784} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,0784 \cdot 1,472}{410}} \right) \\ &= 0,0037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 1000 \times 125 \\ &= 462,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s\text{Perlu}}}{A_{sD10}} \\ &= \frac{462,5}{78,5} \\ &= 5,89 \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned} S &= \frac{1000}{n_{\text{tulangan}}} \\ &= \frac{1000}{6} \\ &= 166,67 \text{ mm.} \approx 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.5 “ Jarak Tulangan Utama $\leq 3 \times$ tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 100 \text{ mm}$$

$$S \leq 300 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D10 - 150 > As perlu.

Perhitungan tulangan Lapangan:

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{36799920}{0,8 \times 1000 \times 125^2} = 2,94$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,0784} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,0784 \cdot 2,94}{410}} \right) \\ &= 0,00764 \end{aligned}$$

Syarat :

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dimana :

$0,0037 < 0,00764 < 0,027 \rightarrow$ (OK!), maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,00764$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00764 \times 1000 \times 125 \\ &= 955 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{Perlu}}}{A_{sD \ 10}} \\ &= \frac{955}{78,5} \\ &= 12,166 \approx 12 \text{ buah} \end{aligned}$$

atau dengan jarak antar tulangan (s) sebesar :

$$\begin{aligned} S &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\ &= \frac{1000}{12} \\ &= 83,333 \text{ mm.} \approx 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.5 “ Jarak Tulangan Utama $\leq 3 \times$ tebal pelat”, maka :

$$S \leq 3 \times 100 \text{ mm}$$

$$S \leq 300 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D10 - 85 > As perlu.

Dari berbagai kondisi diatas maka pelat yang direncanakan menggunakan $\phi 10 - 85 \text{ mm}$.

5.1.3. Panjang Penyaluran Pelat

Dalam panjang penyaluran, harus disediakan cukup tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran sesuai dengan SNI 03-2847-2013, pasal 12.5. :

1. $l_{dh} > 8 \text{ db} = 8 \times 10 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$
2. $l_{dh} > 150 \text{ mm}$
3. $l_{hb} = \frac{100 \times db}{\sqrt{f_c'}} = \frac{100 \times 10}{\sqrt{30}} = 182,57 \text{ mm}$, untuk $f_y = 410 \text{ MPa}$.

Maka untuk panjang penyaluran digunakan 200 mm.

5.1.4. Perhitungan Angkat

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingatkan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (*erection*). Sehingga perlu direncanakan pula tulangan angkat untuk pelat.

Gaya yang bekerja pada pengangkatan pelat :

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan ke dua arah horisontal, yaitu arah i dan j.
- Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 100 cm
- Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ($k=1,2$) pada saat pengangkatan.
- $DL = 0,1 \times 2,5 \times 5,4 \times 2400 = 3240 \text{ kg}$

Berikut adalah contoh perhitungan pelat dengan dimensi pelat 2,5 m x 5,4 m dengan empat titik pengangkatan (*four point pick-up*).

$$\text{Beban ultimate} = 1,2 \times 1,4 \times 3240 \text{ kg} = 5443,2 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya angkat (Tu) setiap tulangan} = \frac{5443,2}{8} = 680,4 \text{ kg}$$

Sesuai PPBI pasal 2.2.2, tegangan tarik ijin baja :

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{fy}{1,5} = \frac{4100}{1,5} = 2733,33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Maka diameter tulangan angkat} = \sqrt{\frac{4 \times 680,4}{\pi \times 2733,33}} = 0,563 \text{ cm}$$

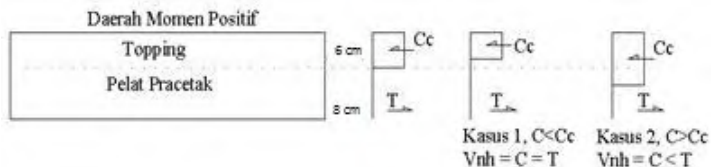
Maka digunakan tulangan D9 mm.

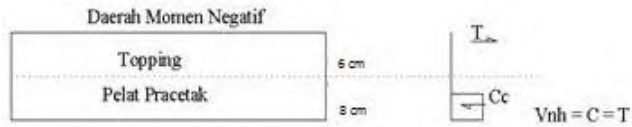
5.1.5. Penulangan Stud Pelat

Pada perencanaan pracetak yang menggunakan topping cor di tempat, transfer gaya regangan horisontal yang terjadi harus mampu dipikul oleh seluruh penampang. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor ditempat maka digunakan tulangan stud. Stud berfungsi sebagai sengkang pengikat antara elemen pracetak serta elemen topping yang mampu mentransfer gaya-gaya yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban yang terjadi.

Di dalam SNI, gaya geser horisontal dapat dicek dengan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik. Gaya geser yang terjadi pada penampang komposit terdapat dua macam kasus, yaitu :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat





Gambar 5.2. Diagram gaya geser horizontal penampang komposit

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 \cdot f'_c \cdot A_{\text{topping}} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 60 \times 1000 \\
 &= 1530000 \text{ N} = 1530 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Direncanakan dipasang tulangan stud D 10 mm

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\
 &= 78,539 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{nh} &= C = T \\
 &= A_s \times f_y \\
 &= 78,539 \times 410 \\
 &= 32201 \text{ N} = 32,201 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,6A_c &= 0,6 \times b_v \times d \\
 &= 0,6 \times 1000 \times 60 \\
 &= 36000 \text{ N} = 36 \text{ kN} > V_{nh}
 \end{aligned}$$

Pada SNI 03-2847-2013 pasal 17.5.3 disebutkan bahwa jika dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan pasal 17.6 dan bidang kontakannya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih dari $0,6 \times b_v \times d$ dalam Newton. Selain itu pada pasal 17.6.1 sengkang pengikat dipasang untuk menyalurkan gaya geser horisontal, maka luas sengkang pengikat tidak boleh kurang daripada luas yang diperlukan oleh pasal 11.4.6.3 serta spasi

sengkan pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang didukung ataupun 600 mm.

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 13.5.5.3 :

$$A_{v \min} = \frac{0,35 \times b \times S}{f_y}$$

$$= \frac{0,35 \times 1000 \times 200}{410} = 171 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang stud D 10 – 200 ($A_v = 392,7 \text{ mm}^2$)

Tabel 5.1. Tulangan terpasang pada pelat

Ukuran Pelat	Tulangan Terpasang (mm ²)
2,5 m x 5,4 m	Arah X
	D 10 – 150

5.2. Perencanaan Tangga

5.2.1. Data-data Perencanaan Tangga

Tinggi antar lantai	= 300 cm
Tinggi bordes	= 150 cm
Panjang tangga	= 555 cm
Panjang bordes	= 165 cm
Lebar bordes	= 275 cm
Tebal bordes	= 15 cm
Lebar injakan trap tangga	= 30 cm
Tinggi injakan trap tangga	= 15 cm
Tebal tangga	= 15 cm
Tebal pelat trap tangga	= 10 cm
Dacking tulangan	= 2 cm
Mutu beton (f'_c)	= 30 MPa
	= 300 kg/cm ²
Mutu baja (f_y)	= 410 MPa
	= 4100 kg/cm ²

5.2.2. Perencanaan Pelat Tangga

Persyaratan perhitungan jumlah tanjakan dan jumlah injakan tangga sesuai dengan rumus berikut:

$$\text{Jumlah tanjakan (n)} = \frac{\text{Tinggi Bordes}}{\text{Tinggi Injakan}}$$

dengan tinggi injakan = 15 cm . Maka didapatkan :

$$\text{Jumlah tanjakan (n)} = \frac{150}{15} = 10 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Injakan} &= n - 1 \\ &= 10 - 1 = 9 \text{ buah.}\end{aligned}$$

$\alpha = \arctg \left(\frac{150}{30 \times 9} \right) = 29,055^\circ$, memenuhi persyaratan yaitu $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ (OK).

5.2.3. Pembebanan Tangga dan Bordes

■ Pembebanan Pelat Tangga

○Beban Mati

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2}{\cos 29,055^\circ} = 411,827 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t = 2cm)} = 2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tegel (t = 2cm)} = 2 \times 24 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat Pegangan} = 30 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{DT} = 531,827 \text{ kg/m}^2$$

○Beban Hidup

$$q_{LT} = 300 \text{ kg/m}^2$$

○Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned}q_{DU} &= 1,2 q_{DT} + 1,6 q_{DL} \\ &= 1,2 (531,827) + 1,6 (300) \\ &= 1118,1924 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

■ Pembebanan Bordes

○Beban Mati

$$\text{Pelat bordes} = 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t = 2cm)} = 2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tegel (t = 2cm)} = 2 \times 24 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat Pegangan} = 30 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{DT} = 480 \text{ kg/m}^2$$

○Beban Hidup

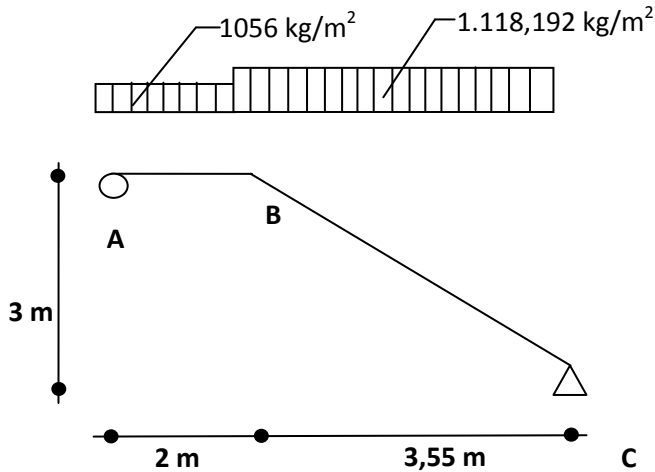
$$q_{LT} = 300 \text{ kg/m}^2$$

○Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} q_{DU} &= 1,2 q_{DT} + 1,6 q_{DL} \\ &= 1,2 (480) + 1,6 (300) \\ &= 1056 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

5.2.4. Perhitungan Gaya pada Tangga

Perhitungan struktur tangga menggunakan mekanika teknik statis dimana permasalahan perletakan menggunakan sendi – rol, dengan pembebanan tangga serta hasil output perhitungan gaya pada tangga sebagai berikut :



Gambar 5.3. Pemodelan struktur tangga

Perhitungan Reaksi Pada Tangga

$$\Sigma M_C = 0$$

$$R_a \times 5,55 - \{(1056 \times 2) ((0,5 \times 2) + 3,55)\} - \{(1118,192 \times 3,55)(0,5 \times 3,55)\} = 0$$

$$R_a = \frac{16655,607}{5,55}$$

$$R_a = 3001,01 \text{ kg } (\uparrow)$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$R_C \times 5,55 - \{(1056 \times 2) \times 1\} - \{((1118,192 \times 3,55) \times ((3,55 \times 0,5) + 2))\} = 0$$

$$R_C = \frac{17097,17}{5,55}$$

$$R_C = 3080,571 \text{ kg } (\uparrow)$$

Kontrol :

$$\Sigma V = 0$$

$$3001,01 + 3080,57 - (1056 \times 2) - (1118,192 \times 3,55) = 0$$

→ (OK)

- Perhitungan Gaya Dalam Pada Tangga
 - Gaya Normal

Potongan x_1

$$N_{x_1} = 0$$

Potongan x_2

$$\begin{aligned} x_2 = 0 \text{ m} \rightarrow N_A &= -R_A \sin 29,055^\circ + H_A \cos 29,055^\circ \\ &= -3001,01 \sin 29,055^\circ + 0 \\ &= -1457,437 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2 = 3,55 \text{ m} \rightarrow N_B &= N_B + q \cdot 3,55 \sin 29,055^\circ \\ &= -1457,437 + 1118,192 \cdot 3,55 \sin 29,055^\circ \\ &= 470,386 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Gaya Lintang

Potongan x_1

$$Dx_1 = Rc - q_1 \cdot x_1 = 3080,571 - (1056 \cdot x_1)$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \rightarrow Dc = 3080,571 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} x_1 = 2 \text{ m} \rightarrow D_B &= 3080,571 - (1056 \cdot 2) \\ &= 968,571 \text{ kg} \end{aligned}$$

Potongan x_2

$$Dx_2 = -R_A + q_2 \cdot x_2 = -3001,01 + (1118,192 \cdot x_2)$$

$$\text{Untuk } x_2 = 0 \text{ m} \rightarrow D_A = -3001,01 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} x_2 = 3,55 \text{ m} \rightarrow D_B &= -3001,01 + (1118,192 \cdot 3,55) \\ &= 968,572 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Momen

Potongan x_1

$$Mx_1 = Rc \cdot x_1 - \frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot x_1^2$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \rightarrow M_C = 0$$

$$\begin{aligned} x_1 = 2 \text{ m} \rightarrow M_B &= 3080,571 \cdot 2 - \frac{1}{2} \cdot 1056 \cdot 2^2 \\ &= 4049,142 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Potongan x_2

$$Mx_2 = R_A \cdot x_2 - \frac{1}{2} \cdot q_2 \cdot x_2^2$$

$$\text{Untuk } x_2 = 0 \text{ m} \rightarrow M_A = 0$$

$$\begin{aligned}
 x_2 = 3,55 \text{ m} \rightarrow M_B &= 3001,01 \cdot 3,55 - \\
 &\quad \frac{1}{2} \cdot 1118,192 \cdot 3,55^2 \\
 &= 3607,578 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Pada tangga momen maksimum terjadi pada saat :

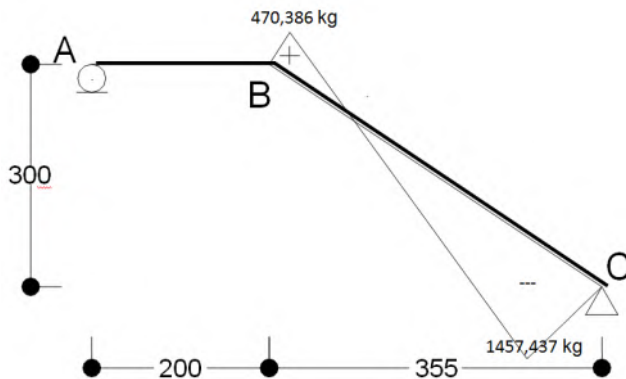
$$\text{Persamaan : } 3001,01 \cdot x_2 - \frac{1}{2} \cdot 1118,192 \cdot x_2^2$$

$$Dx_2 = 0 \rightarrow 3001,01 - 1118,192 \cdot x_2 = 0$$

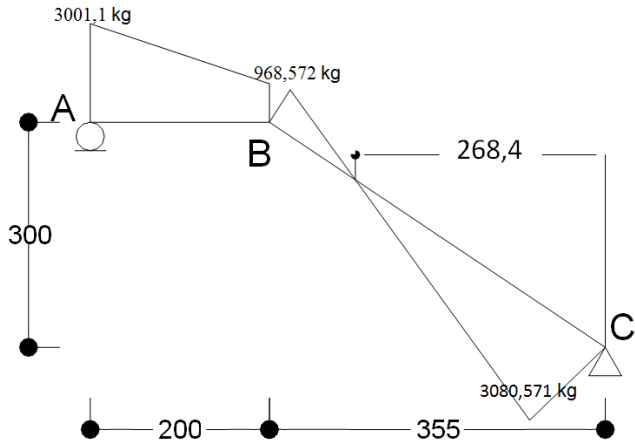
$$x_2 = \frac{3001,01}{1118,192} = 2,684 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= 3001,01 \cdot x_2 - \frac{1}{2} \cdot 1118,192 \cdot x_2^2 \\
 &= 3491,226 \cdot 2,684 - \frac{1}{2} \cdot 1118,192 \cdot 2,684^2 \\
 &= 5342,8 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

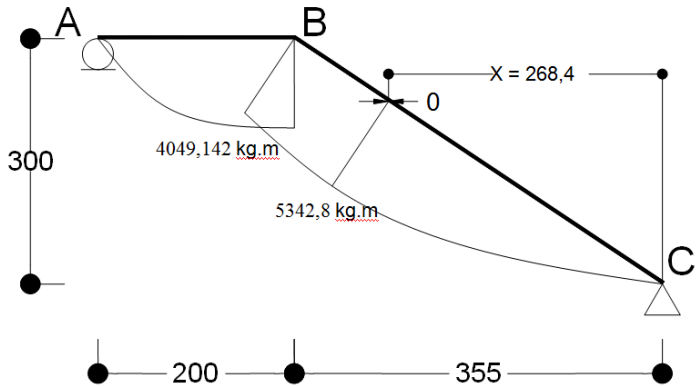
Berikut adalah gambar-gambar gaya dalam pada tangga hasil perhitungan diatas :



Gambar 5.4. Gaya normal tangga



Gambar 5.5. Gaya geser tangga



Gambar 5.6. Gaya momen tangga

5.2.5. Perhitungan Tulangan Tangga

- Data Perencanaan Penulangan Tangga
 - $f'_c = 30 \text{ MPa}$
 - $f_y = 410 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
\phi \text{ tul} &= 16 \text{ mm} \\
d_x &= 150 - 20 - (16/2) \\
&= 122 \text{ mm} \\
\rho_{\min} &= \frac{1,4}{410} = 0,0034 \\
\rho_b &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{410} \times \frac{600}{600+410} = 0,0314 \\
\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
&= 0,75 \times 0,0314 = 0,0235 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{410}{0,85 \times 30} = 16,078
\end{aligned}$$

- Perhitungan Penulangan Pelat Tangga
 $M_u = 5342,8 \text{ kgm} = 53428000 \text{ Nmm}$

$$\begin{aligned}
R_n &= \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{53428000}{0,8 \times 1000 \times 122^2} = 4,487 \\
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 4,457}{410}} \right) \\
&= 0,01213
\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}
A_{S_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\
&= 0,01213 \times 1000 \times 122 \\
&= 1478,64 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur D16 – 100 ($A_{S_{\text{Pakai}}} = 2011 \text{ mm}^2$)

As tulangan bagi = 20%. $A_s = 0,2 \times 1478.64 = 295,728 \text{ mm}^2$

Digunakan tulangan D8 – 125 ($A_{S_{\text{Pakai}}} = 402 \text{ mm}^2$)

- Penulangan Pelat Bordes
 $M_u = 4049,142 \text{ kgm} = 40491420 \text{ Nmm}$

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{40491420}{0,8 \times 1000 \times 122^2} = 3,4$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 3,4}{410}} \right) \\ &= 0,00893\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00893 \times 1000 \times 122 \\ &= 1089,46 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur D16 – 100 ($A_{S_{\text{pakai}}} = 2011 \text{ mm}^2$)

As tulangan bagi = 20% . $A_s = 0,2 \times 1089,46 = 217,892 \text{ mm}^2$

Digunakan tulangan D6 – 125 ($A_{S_{\text{pakai}}} = 283 \text{ mm}^2$).

■ Penulangan Balok Bordes

Digunakan dimensi balok bordes sebesar 20/30

Beban Mati (DL) :

- Pelat Bordes = $240 \text{ kg/m}^2 \times 1,65 \text{ m}$
= 396 kg/m
- Berat Balok = $0,2 \times 0,3 \times 2400$
= 144 kg/m

$$\begin{aligned}q_{DT} &= 396 + 144 \\ &= 540 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Beban Hidup (LL) :

$$\begin{aligned}q_{LT} &= 300 \text{ kg/m}^2 \times 1,65 \text{ m} \\ &= 495 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Kombinasi Pembebanan :

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2 q_{DT} + 1,6 q_{LT} \\ &= 1,2 \cdot 540 \text{ kg/m} + 1,6 \cdot 495 \text{ kg/m} \\ &= 1440 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= -\frac{1}{10} \times Q_u \times l^2 \\ &= -\frac{1}{10} \times 1440 \times 2,75^2 \\ &= 1089 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$d = 300 - 40 - 0,5 \times 16 - 8$$

$$\begin{aligned}
 &= 244 \text{ mm} \\
 M_n &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{1089000}{0,8} = 1361250 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b.d^2} = \frac{1361250}{200 \times 122^2} = 0,4573 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 0,4573}{410}} \right) \\
 &= 0,00113
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,00113 \times 200 \times 244 \\
 &= 55,144 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang 2D6 ($A_{s_{\text{Pakai}}} = 56,55 \text{ mm}^2$)

Digunakan tulangan tekan praktis 2D6 ($A_{s_{\text{Pakai}}} = 56,55 \text{ mm}^2$).

Jarak Sengkang (S) :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{bw - 2 \cdot \phi_{\text{sengkang}} - 2 \cdot \text{cover} - n \cdot \phi_{\text{tul utama}}}{n-1} \geq 25 \text{ mm} \\
 &= \frac{200 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 40 - 4 \cdot 6}{2-1} \geq 25 \text{ mm} \\
 &= 80 \geq 25 \text{ mm} \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$

5.3. Perencanaan Balok Anak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi panjang biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada di balok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

5.3.1 Data-Data Perencanaan Balok Anak

Dimensi	: 25 cm x 35 cm
f'_c	: 30 MPa
f_y	: 410 MPa
Tul. Lentur	: D19

Tul. Sengkang : D10

5.3.2. Pembebanan Balok Anak

Berikut adalah beban – beban yang bekerja pada balok anak :

▪ Sebelum Komposit :

Beban Mati :

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri} &= 0,25\text{m} \times 0,35\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \\ &= 210 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{Berat Pelat sebelum komposit} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}q_{\text{pelat}} &= 192 \times 3 \\ &= 576 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{DL} &= 210 + 576 \\ &= 786 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Beban Hidup :

$$\begin{aligned}\text{Beban pekerja dan OP (LL)} &= 20\% \times \text{Beban mati pelat} \\ &= 67,2 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_{\text{LL}} &= 67,2 \times 3 \\ &= 201,6 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2\text{DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (786) + 1,6 (201,6) \\ &= 1265,76 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

▪ Setelah Komposit :

Beban Mati :

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri} &= 0,25\text{m} \times 0,35\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \\ &= 210 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{Berat Pelat setelah komposit} = 336 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}q_{\text{Pelat}} &= 336 \times 3 \\ &= 1008 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{DL} &= 210 + 1008 \\ &= 1218 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Beban Hidup :

$$\text{Bebah Hidup} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}q_{\text{Beban Hidup}} &= 250 \times 3 \\ &= 750 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2DL + 1,6 LL \\
 &= 1,2 (1218) + 1,6 (750) \\
 &= 2661,6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

5.3.3. Perhitungan Momen dan Gaya Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3

- Momen dan Gaya Geser Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 M_{Tump} &= -\frac{1}{16} \times (1265,76) \times 5,8^2 \\
 &= -2661,26 \text{ kgm} \\
 M_{Lap} &= \frac{1}{10} \times (1265,76) \times 5,8^2 \\
 &= 4258,02 \text{ kgm} \\
 V &= \frac{1}{2} \times (1265,76) \times 5,8 \\
 &= 3670,7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

▪

- Momen dan Gaya Geser Setelah Komposit

$$\begin{aligned}
 M_{Tump} &= -\frac{1}{16} \times (2661,6) \times 5,8^2 \\
 &= -5596 \text{ kgm} \\
 M_{Lap} &= \frac{1}{10} \times (2661,6) \times 5,8^2 \\
 &= 8953,62 \text{ kgm} \\
 V &= \frac{1}{2} \times (2661,6) \times 5,8 \\
 &= 7718,64 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5.3.4. Perhitungan Tulangan Lentur

- Data Perencanaan Penulangan Balok Anak
Dimensi Balok anak 25/35
Tebal selimut beton = 20 mm
D tulangan utama = 22 mm
D tulangan sengkang = 14 mm
 f'_c = 30 MPa
 f_y = 410 MPa

$$d_{\text{sebelum komposit}} = 350 - 20 - 10 - \frac{1}{2}(22) = 309 \text{ mm}$$

$$d_{\text{setelah komposit}} = 550 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(22) = 489 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ (fc'=30 MPa)}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \text{ (03-2847-2013 ps18.4.2(Lam.B))}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right) = 0,0314$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0314 = 0,02355$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,0034$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{30}}{410} = 0,00334 \text{ (SNI 03-2847-2013 ps 10.5.1)}$$

ρ_{\min} dipilih yang terbesar yaitu 0,0034.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{410}{0,85 \times 30} = 16,08$$

■ Penulangan Sebelum Komposit

○ Tulangan Lapangan

$$M_u = 4258,02 \text{ kgm} = 42580200 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta) M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 42580200}{0,8 \times 250 \times 309^2} = 1,784$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,08} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,08 \cdot 1,784}{410}} \right)$$

$$= 0,00452$$

Syarat :

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dimana :

$0,0034 < 0,0045 < 0,023 \rightarrow$ (OK!), maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0045$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0045 \times 250 \times 309 \\ &= 347,625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{n tulangan} &= \frac{A_{s\text{Perlu}}}{A_{sD\ 14}} \\ &= \frac{347,625}{153,94} \\ &= 2,258 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 4D14 ($A_s = 615,76 \text{ mm}^2$)

$$A_{s'} = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 347,625 = 173,8125 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D14 ($A_s = 307,88 \text{ mm}^2$)

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{615,76}{250 \times 309} = 0,00797 > \rho_{\text{perlu}} \\ a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{1519,76 \times 410}{0,85 \times 250 \times 30} = 97,741 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DM_n &= D \times A_s \times f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 615,76 \times 410 \left(309 - \frac{97,741}{2} \right) \end{aligned}$$

$$DM_n = 52.528.167,82 \text{ Nmm} > Mu = 42.580.200 \text{ Nmm} \text{ (OK).}$$

○ Tulangan Tumpuan

$$Mu = 2661,26 \text{ kgm} = 26612600 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 26612600}{0,8 \times 250 \times 309^2} = 0,836$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16,08} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,08 \cdot 0,836}{410}} \right) \\ &= 0,00207\end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\delta}$, maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0034$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{S\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0034 \times 250 \times 309 \\ &= 262,65 \text{ mm}^2 \\ n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S\text{perlu}}}{A_{SD \ 14}} \\ &= \frac{262,65}{153,96} \\ &= 1,706 \approx 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 2D14 ($A_s = 307,88 \text{ mm}^2$)

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 262,65 = 131,325 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D14 ($A_s = 307,88 \text{ mm}^2$)

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{307,88}{250 \times 309} = 0,004 > \rho_{\text{perlu}} \\ a &= \frac{A_s \times fy}{0,85 \cdot b \cdot f'c} = \frac{307,88 \times 410}{0,85 \times 250 \times 30} = 19,8 \text{ mm} \\ DMn &= D \times A_s \times fy \cdot (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0,8 \times 307,88 \times 410 \left(309 - \frac{19,8}{2} \right)\end{aligned}$$

$$DMn = 30204505,82 \text{ Nmm} > Mu = 26612600 \text{ Nmm (OK).}$$

■ Penulangan Setelah Komposit

○ Tulangan Lapangan

$$Mu = 8953,62 \text{ kgm} = 89536200 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 89536200}{0,8 \times 250 \times 489^2} = 1,498$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16,08} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,08 \cdot 1,498}{410}} \right) \\ &= 0,0037\end{aligned}$$

Syarat :

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dimana :

$0,0034 < 0,0037 < 0,0235 \rightarrow (\text{OK!})$, maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0037$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{S\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 250 \times 489 \\ &= 452,325 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 5D18 ($A_s = 1272,35 \text{ mm}^2$)

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 452,325 = 226,16 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 4D18 ($A_s = 1017,876 \text{ mm}^2$)

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1272,35}{250 \times 489} = 0,0104 > \rho_{\min} \\ a &= \frac{A_s \times fy}{0,85 \cdot b \cdot f'c} = \frac{1272,35 \times 410}{0,85 \times 250 \times 30} = 81,83 \text{ mm} \\ DMn &= D \times A_s \times fy \cdot (d - \frac{a}{2})\end{aligned}$$

$$= 0,8 \times 1272,35,94 \times 410 \left(489 - \frac{81,83}{2} \right)$$

$$DMn = 186999671 \text{ Nmm} > Mu = 89536200 \text{ Nmm} \quad (\text{OK}).$$

5.3.5. Perhitungan Tulangan Geser

Pada perhitungan tulangan geser ini, dipakai tulangan geser dengan diameter 10 mm. Berikut perhitungan tulangan geser :

- Perhitungan Tulangan Geser Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}V_u &= 3670 \text{ kg} \\ &= 36,70 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 250 \times 309$$

$$= 70519,279 \text{ N} = 70,52 \text{ kN}$$

$$DV_c = 0,6 \times 70,52 = 42,31 \text{ kN}$$

$$0,5.DV_c = 0,5 \times 42,31 = 21,15 \text{ kN}$$

Karena $V_u > 0,5DV_c$, maka diperlukan tulangan geser.

$$V_s = \frac{V_u}{D}$$

$$= \frac{36,7}{0,75} = 48,933 \text{ kN}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak Sengkang :

$$S_{Max} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{157 \times 410 \times 309}{48933}$$

$$= 406,48 \text{ mm}$$

$$S_{Max} \leq d/2 = \frac{309}{2} = 154,5 \text{ mm}$$

$$S_{Max} \leq 600 \text{ mm}$$

Jadi dipakai sengkang D10 – 150.

■ Perhitungan Tulangan Geser Setelah Komposit

$$V_u = 7718,64 \text{ kg}$$

$$= 77,19 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 250 \times 489$$

$$= 111598,47 \text{ N} = 111,6 \text{ kN}$$

$$DV_c = 0,6 \times 111,6 = 66,96 \text{ kN}$$

$$0,5.DV_c = 0,5 \times 66,96 = 33,48 \text{ kN}$$

Karena $V_u > 0,5DV_c$, maka diperlukan tulangan geser.

$$V_s = \frac{V_u}{D}$$

$$= \frac{77,19}{0,75} = 102,92 \text{ kN}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak Sengkar :

$$S_{\text{Max}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{157 \times 410 \times 489}{102920}$$

$$= 305,84 \text{ mm}$$

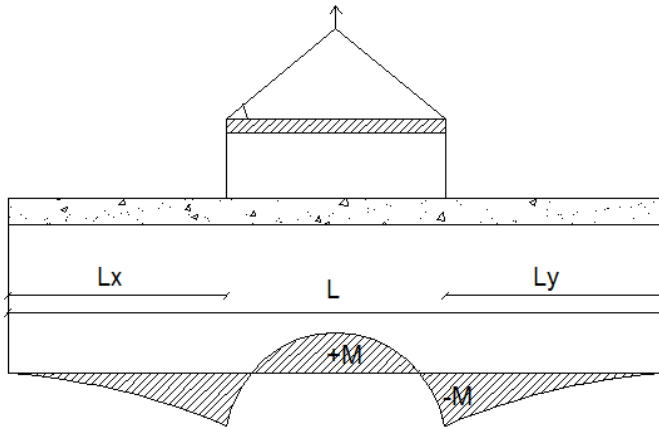
$$S_{\text{Max}} \leq d/2 = \frac{489}{2} = 244,5 \text{ mm}$$

$$S_{\text{Max}} \leq 600 \text{ mm}$$

Jadi dipakai sengkang D10 – 250.

5.3.6. Pengangkatan Balok Anak

Balok anak dibuat secara pracetak, maka elemen balok anak harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan serta kekuatan tulangan angkat harus dapat menjamin keamanan elemen balok anak tersebut dari kerusakan yang mungkin akan terjadi.



Gambar 5.7. Pengangkatan balok anak

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4x + \frac{4Yc}{L \cdot \tan \theta} \right)$$

$$-M = \frac{W \cdot X^2 L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \cdot \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_a}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \cdot \tan \theta} \right)} \right)}$$

Diketahui : balok induk 40/60 dengan bentang 720 cm

$$Y_a = Y_b = \frac{40 - 14}{2} = 13 \text{ cm}$$

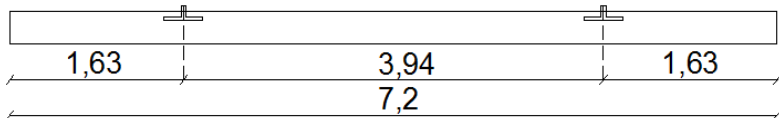
$$\begin{aligned} Y_c &= Y_a + 3'' \rightarrow 3'' = 0,0762 \text{ m} \\ &= 0,13 + 0,0762 \\ &= 0,2062 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} X &= \frac{1 + \frac{4 \times 0,2062}{7,20 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{0,13}{0,13} \left(1 + \frac{4 \times 0,2062}{7,20 \times \tan 45^\circ} \right)} \right)} \\ &= 0,227 \end{aligned}$$

$$X \cdot L = 0,227 \times 7,2 = 1,63 \text{ m}$$

$$L - 2(X \cdot L) = 7,2 - 2 \times 1,63 = 3,94 \text{ m}$$



Gambar 5.8. Jarak tulangan angkat

Data – data profil baja :

- Panjang tekuk = 388,8 cm
- Mutu baja BJ 36
- Profil WF 100 x 100 x 6 x 8

$A = 21,9 \text{ cm}^2$	$i_s = 4,18 \text{ cm}$
$i_y = 2,47 \text{ cm}$	$w = 17,2 \text{ kg/m}$

Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Balok} &= 0,3 \times 0,4 \times 7,2 \times 2400 = 2073,6 \text{ kg} \\ \text{Balok profil} &= 17,2 \times 7,2 = 123,84 \text{ kg} \\ &= 2197,44 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T \sin \theta = P &= \frac{1,2 \times k \times Wt}{2} \\
 &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 2197,44}{2} \\
 &= 1582,157 \text{ kg} \\
 T &= \frac{1582,157}{\sin 45^\circ} = 2237,507 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

Tulangan Angkat Balok Melintang

$$P_u = 2237,507 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2 tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 400 \text{ Mpa}$ adalah $\frac{f_y}{1,5}$.

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{4000}{1,5} = 2666,67 \text{ kg/m}^2$$

$$D_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{tarik ijin}} \times \pi}}$$

$$D_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{2237,507}{2666,67 \times \pi}}$$

$$D_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,51 \text{ cm.}$$

Digunakan tulangan D 10 mm

Momen yang terjadi :

- Pembebanan

$$\text{Balok} = 0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Balok Profil} &= 17,2 \\
 &= \underline{17,2 \text{ kg/m}_+} \\
 &= 305,2 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan suatu faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2.

- Momen Lapangan

$$\begin{aligned}
 +M &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Yc}{L.tg\theta} \right) \times 1,2 \\
 &= \left(\frac{305,2 \times 7,2^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,227 + \frac{4 \times 0,2062}{7,2.tg45} \right) \right) \times 1,2 \\
 &= 490,205 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{490,205 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 400^2}$$

$$= 0,61 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f'_c} = 4,14 \text{ MPa} \rightarrow (\text{OK})$$

- Momen Tumpuan

$$-M = \left(\frac{W \cdot X^2 \cdot L^2}{2} \right) \times 1,2$$

$$= \left(\frac{305,2 \cdot 0,227^2 \cdot 7,2^2}{2} \right) \times 1,2$$

$$= -489,162 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi :

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{489,162 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 400^2}$$

$$= 0,61 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f'_c} = 4,14 \text{ MPa} \rightarrow (\text{OK})$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan f' akibat momen positif maupun momen negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ pada usia beton 3 hari. Jadi dapat disimpulkan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan yang diakibatkan dari proses *erection* atau pengangkatan.

5.4. Perencanaan Balok Lift

Lift berfungsi untuk mengangkut orang/barang menuju ke lantai yang berbeda ketinggian atau elevasi. Perencanaan balok lift ini diantaranya adalah balok-balok yang ada di sekeliling ruang lift maupun mesin lift, yaitu balok penggantung lift dan balok penumpu lift. Dalam perencanaan balok lift diperlukan spesifikasi dari lift yang akan digunakan, dalam Tugas Akhir ini lift yang akan digunakan diproduksi dari *Hyundai Elevator Corporation* dengan spesifikasi :

- Merk : Hyundai
- Kecepatan : 1,75 m/s
- Kapasitas : 750 kg (11 orang)

- Lebar pintu : 900 mm
- Dimensi Sangkar (car size) : 1160 x 1842 mm²
- Dimensi Ruang Luncur : 1850 x 2100 mm²
- Dimensi Ruang Mesin : 2000 X 3900 mm²
- Beban reaksi ruang mesin
 - $R_1 = 4550 \text{ kg} \rightarrow \text{Berat Mesin Penggerak} + \text{Beban Kereta} + \text{Perlengkapan.}$
 - $R_2 = 2800 \text{ kg} \rightarrow \text{Berat Bandul Pemberat} + \text{Perlengkapan.}$

5.4.1. Perencanaan Dimensi Balok

- Balok Penggantung Lift
 - Panjang balok penggantung lift = 250 cm
 - $h = \frac{L}{16} = \frac{250}{16} = 15,625 \rightarrow \text{diambil } h = 30 \text{ cm}$
 - $b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3}30 = 20 \text{ cm}$
 - Maka dipeoleh dimensi balok penggantung lift 20/30.
- Balok Penumpu Lift
 - Panjang balok penumpu lift = 250 cm
 - $h = \frac{L}{16} = \frac{250}{16} = 15,625 \rightarrow \text{diambil } h = 30 \text{ cm}$
 - $b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3}30 = 20 \text{ cm}$
 - Maka dipeoleh dimensi balok penumpu lift 20/30.

5.4.2. Pembebanan Balok

- Beban yang bekerja pada balok penumpu
 - Beban yang bekerja pada balok penumpu adalah beban yang diakibatkan dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan , serta akibat bandul pemberat + perlengkapan.
- Koefisien kejut beban hidup oleh keran
 - Pada PPIUG 1983 pasal 3.3.(3) dinyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat

sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan karena induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana, beban keran tersebut harus dikalikan dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus :

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana :

Ψ = Koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

v = Kecepatan angkat maksimum dalam m/dtk pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/dtk.

k_1 = Koefisien yang bergantung pada kekuatan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka pada umumnya nilainya diambil sebesar 0,6.

k_2 = Koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, diambil sebesar 1,3.

Maka beban yang bekerja pada balok adalah :

$$\begin{aligned} P &= \sum R \cdot \Psi \\ &= (4550 + 2800) \cdot (1 + 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1) \\ &= 13083 \text{ kg} \end{aligned}$$

a. Pembebanan Balok Penggantung Lift

Beban Mati (q_D)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok} &= 0,2 \times 0,39 \times 2400 \\ &= 187,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat plat beton} &= 0,25 \times 2,00 \times 2400 \\ &= 1200 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_D &= 187,2 + 1200 \\ &= 1387,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Hidup (q_L)

$$q_L = 250 \text{ kg/m}$$

Baban berfaktor

$$\begin{aligned}q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\&= 1,2.1387,2 + 1,6.250 \\&= 2064,64 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Beban terpusat lift, P = 13083 kg

$$\begin{aligned}V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P \\&= \frac{1}{2} \cdot 2064,64 \cdot 2,5 + \frac{1}{2} \cdot 13083 \\&= 9122,3 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} PL \\&= \frac{1}{8} \cdot 2064,64 \cdot 2,5^2 + \frac{1}{4} \cdot 13083 \cdot 2,5 \\&= 9789,875 \text{ kgm}\end{aligned}$$

b. Pembebanan Balok Penumpu Lift

Beban Mati (q_D)

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri balok} &= 0,3 \times 0,39 \times 2400 \\&= 187,2 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat plat beton} &= 0,25 \times 2,00 \times 2400 \\&= 1200 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_D &= 187,2 + 1200 \\&= 1387,2 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Beban Hidup (q_L)

$$q_L = 250 \text{ kg/m}$$

Baban berfaktor

$$\begin{aligned}q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\&= 1,2.1387,2 + 1,6.250 \\&= 2064,64 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Baban terpusat lift, $P = 9487,4 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2064,64 \cdot 2,5 + \frac{1}{2} \cdot 13083 \\ &= 9122,3 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} PL \\ &= \frac{1}{8} \cdot 2064,64 \cdot 2,5^2 + \frac{1}{4} \cdot 13083 \cdot 2,5 \\ &= 9789,875 \text{ kgm} \end{aligned}$$

5.4.3. Penulangan Balok

a. Penulangan Balok Penggantung Lift

▪ Data Perencanaan :

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$\text{Tul. Balok diameter (D-14)} = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Tul. Sengkang diameter (D-8)} = 6 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} d' &= h' + D_{\text{Sengkang}} + \frac{1}{2} \cdot D_{\text{Tul. utama}} \\ &= 30 + 6 + 0,5 \cdot 14 \\ &= 43 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = 300 - 43 = 257 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ (} f_c' = 30 \text{ MPa)}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right) = 0,0322$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0322 = 0,024$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,0034$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{30}}{410} = 0,00334$$

ρ_{\min} dipilih yang terbesar yaitu 0,0034.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{410}{0,85 \times 30} = 16,078$$

▪ Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{Mu}{b.d^2} = \frac{97898750}{0,8 \times 200 \times 257^2} = 9,263$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 9,263}{410}} \right) \\ &= 0,0297 \end{aligned}$$

$\rho > \rho_{\max}$, dimana :

$0,0297 < 0,024$, maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,024$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,024 \times 200 \times 257 \\ &= 1233,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s D \ 14}} \\
 &= \frac{1233,6}{394} \\
 &= 3,13 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 3D14 (461,813 mm²)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{bw - 2\phi_{sengkan} - 2.decking - n.\phi_{tul \ .utama}}{n-1} \geq 25 \text{ mm} \\
 &= \frac{200 - 2.(6) - 2.(30) - 3.(14)}{3-1} = 50 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

BAB VI

PERENCANAAN GEMPA

6.1. Perencanaan Pembebanan Gempa

Struktur utama merupakan komponen utama di mana kekakuan pada struktur utama mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Pada bab ini beban gempa direncanakan sesuai dengan peraturan gempa SNI 03-1726-2012.

6.2. Data-Data Perencanaan

Data-data perencanaan Gedung Gunawangsan *MERR* ini adalah sebagai berikut :

Mutu beton (f_c')	:	30MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	:	410 MPa
Fungsi bangunan	:	Apartemen
Tinggi bangunan	:	76,8 m
Jumlah tingkat	:	24 Lantai
• Lantai semi basement	=	3,60 m
• Lantai 1	=	4,00 m
• Lantai 2 - 3	=	5,20 m
• Lantai 4 - 24	=	3,00 m
Dimensi kolom	:	65 x 65
Dimensi balok	:	40/55
Zona Gempa	:	3
Faktor keutamaan	:	1

6.3. Perhitungan Berat Struktur

Untuk bisa melakukan analisa terhadap beban gempa diperlukan data luas lantai, tinggi struktur, panjang total balok induk dan panjang balok anak untuk keseluruhan lantai guna mencari berat keseluruhan dari gedung. Berikut data-data yang diperlukan yang tersaji dalam tabel dibawah ini :

Tabel 6.1. Tabel luas per lantai

luas per lantai	(m ²)
Basement	1786,04
Lantai 1	2046,15
Lantai 2-3	1560,96
Lantai 4	2323,97
Lantai 5-24	774,44
Lantai Atap	679,14

Tabel 6.2. Tabel panjang balok induk per lantai

panjang balok induk per lantai	(m)
Basement	415
Lantai 1	410
Lantai 2-3	300

Lantai 4	323
Lantai 5-24	145
Lantai Atap	124

Tabel 6.3. Jumlah kolom per lantai

jumlah kolom	buah
Basement-3	42
Lantai 4-22	32
Lantai 24	26

Dari data tersebut, maka didapatkan perhitungan berat bangunan per lantai sebagai berikut :

- a. Berat lantai Basement

Tabel 6.4. Berat lantai atap

Lantai basement		
Beban mati		
Berat Pelat	1786,04x2400x0,15	642974,4
Berat Penggantung	1786,04x7	12502,28

Berat Plafon	1786,04x11	19646,44
Berat Balok Induk	0,4x0,55x2400x415	219120
Berat Balok Lift	0,2x0,3x2400x60	8640
Tegel (keramik)	1786,04x24	42864,96
Dinding (1/2 bata)	3,6x250x170	153000
ME	1786,04x8	14288,32
Berat Spesi (2 cm)	1786,04x2100x0,02	75013,68
Berat Aspal (1cm)	1786,04x1400x0,01	25004,56
Berat Kolom	0,65x0,65x2400x3,6x42	153316,8
Jumlah Beban Mati		1.366.371
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	1786,04x250	446510
Jumlah Beban Hidup		446.510
Beban lantai basement		
Beban Mati + Beban Hidup	(berat dalam kg)	1.812.881

b. Berat lantai 1

Tabel 6.5. Berat lantai 1

Lantai 1		
Beban mati		
Berat Pelat	2046,15x2400x0,15	736614
Berat Penggantung	2046,15x7	14323,05
Berat Plafon	2046,15x11	22507,65
Berat Balok Induk	0,4x0,55x2400x410	216480
Berat Balok Lift	0,2x0,3x2400x60	8640
Tegel (keramik)	2046,15x24	49107,6
Dinding (1/2 bata)	4x250x175	175000
ME	2046,15x8	16369,2
Berat Spesi (2 cm)	2046,15x2100x0,02	85938,3
Berat Aspal (1cm)	2046,15x1400x0,01	28646,1
Berat Kolom	0,65x0,65x2400x4x42	170352
Jumlah Beban Mati		1523978
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	2046,15x250	511537,5
Jumlah Beban Hidup		511537,5
Beban lantai 1		
Beban Mati + Beban Hidup	(berat dalam kg)	2035515,5

c. Berat lantai 2-3

Tabel 6.6. Berat lantai 2 - 3

Lantai 2-3		
Beban mati		
Berat Pelat	1560,96x2400x0,15	561945,6
Berat Penggantung	1560,96x7	10926,72
Berat Plafon	1560,96x11	17170,56
Berat Balok Induk	0,4x0,55x2400x300	158400
Berat Balok Lift	0,2x0,3x2400x60	8640
Tegel (keramik)	1560,96x24	37463,04
Dinding (1/2 bata)	5,2x250x285	370500
ME	1560,96x8	12487,68
Berat Spesi (2 cm)	1560,96x2100x0,02	65560,32
Berat Aspal (1cm)	1560,96x1400x0,01	21853,44
Berat Kolom	0,65x0,65x2400x5,2x42	221457,6
Jumlah Beban Mati		1486405
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	1560,96x250	390240
Jumlah Beban Hidup		390240

Beban Mati + Beban Hidup	(berat dalam kg)	1876645
--------------------------	------------------	---------

d. Berat lantai 4

Tabel 6.7. Berat lantai 4

Lantai 4		
Beban mati		
Berat Pelat	2323,97x2400x0,15	836629,2
Berat Penggantung	2323,97x7	16267,79
Berat Plafon	2323,97x11	25563,67
Berat Balok Induk	0,4x0,55x2400x323	170544
Berat Balok Lift	0,2x0,3x2400x60	8640
Tegel (keramik)	2323,97x24	55775,28
Dinding (1/2 bata)	3x250x150	112500
ME	2323,97x8	18591,76
Berat Spesi (2 cm)	2323,97x2100x0,02	97606,74
Berat Aspal (1cm)	2323,97x1400x0,01	32535,58
Berat Kolom	0,65x0,65x2400x3x32	97344
Jumlah Beban Mati		1471998
Beban hidup		

Beban Hidup Lantai	2323,97x250	580992,5
Jumlah Beban Hidup		580992,5
Beban lantai 4		
Beban Mati + Beban Hidup	(berat dalam kg)	2052990,5

e. Berat lantai 5 - 24

Tabel 6.8. Berat lantai 5 - 24

Lantai 5 - 24		
Beban mati		
Berat Pelat	774,44x2400x0,15	278798,4
Berat Penggantung	774,44x7	5421,08
Berat Plafon	774,44x11	8518,84
Berat Balok Induk	0,4x0,55x2400x145	76560
Berat Balok Lift	0,2x0,3x2400x60	8640
Tegel (keramik)	774,44x24	18586,56
Dinding (1/2 bata)	3x250x211,5	158625
ME	774,44x8	6195,52
Berat Spesi (2 cm)	774,44x2100x0,02	32526,48

Berat Aspal (1cm)	774,44x1400x0,01	10842,16
Berat Kolom	0,65x0,65x2400x3x32	97344
Jumlah Beban Mati		702058
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	774,44x250	193610
Jumlah Beban Hidup		196310
Beban lantai 5-24		
Beban Mati + Beban Hidup	(berat dalam kg)	895668

f. Berat Lantai Atap

Tabel 6.9. Berat lantai atap

Lantai Atap		
Beban mati		
Berat Pelat	679,14x2400x0,12	195592,32
Berat Penggantung	679,14x7	4753,98
Berat Plafon	679,14x11	7470,54
Berat Balok Induk	0,4x0,55x2400x124	65472
Berat Balok Lift	0,2x0,3x2400x60	8640

Dinding (1/2 bata)	2x250x128,2	64100
ME	679,14x8	5433,12
Berat Spesi (2 cm)	679,14x2100x0,02	28523,88
Berat Aspal (1cm)	679,14x1400x0,01	9507,96
Jumlah Beban Mati		389493,8
Beban hidup		
Beban Hidup Lantai	679,14x100	67914
Jumlah Beban Hidup		679140
Beban lantai atap		
Beban Mati + Beban Hidup	(kg)	457407,8

Maka akan didapatkan beban total per lantai sebagai berikut :

Tabel 6.10. Berat setiap lantai

Lantai	W (kg)	Lantai	W (kg)
Basement	1812881	Lantai 13	895668
Lantai 1	2035515,5	Lantai 14	895668
Lantai 2	1876645	Lantai 15	895668
Lantai 3	1876645	Lantai 16	895668

Lantai 4	2052990,5	Lantai 17	895668
Lantai 5	895668	Lantai 18	895668
Lantai 6	895668	Lantai 19	895668
Lantai 7	895668	Lantai 20	895668
Lantai 8	895668	Lantai 21	895668
Lantai 9	895668	Lantai 22	895668
Lantai 10	895668	Lantai 23	895668
Lantai 11	895668	Lantai 24	895668
Lantai 12	895668	Lantai atap	457407,8
		Total	21.765.812

6.4. Prosedur Analisis Beban Seismik

Pada struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan bawah, dimana struktur bangunan gedung tersebut harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Berikut langkah-langkah analisis beban seismik berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 untuk bangunan gedung :

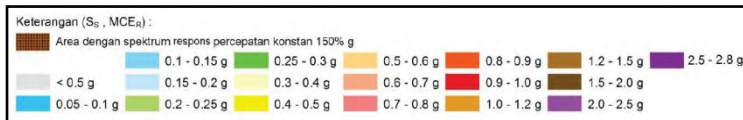
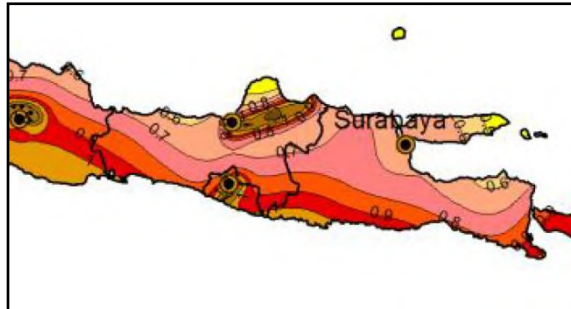
- a. Gedung apartemen Gunawangsa *MERR* merupakan kategori resiko bangunan gedung apartemen atau rumah susun. Gedung tersebut masuk pada kategori resiko II.

- b. Dari kategori gedung dapat ditemukan faktor keutamaan gempa (I_e). Pada perencanaan ini kategori resiko masuk pada kategori resiko II sehingga faktor keutamaan diperoleh 1,00.
- c. Penentuan kelas situs berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah dan lapangan dan di laboratorium.

Tabel 6.11. Klasifikasi Situs

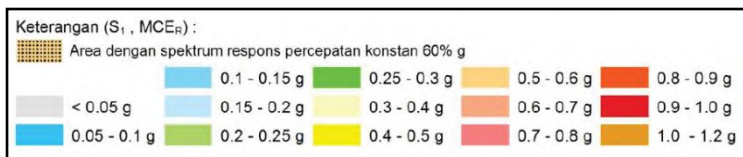
Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau Nch	S_u (kPa)
<i>SE</i> (Tanah Lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar Air, $w > 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa 		

- d. Parameter Percepatan Percepatan Gempa
 Parameter yang digunakan adalah S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) serta parameter S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik). Parameter tersebut harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik (MCE_R) dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun.



Gambar 6.1. Peta MCE_R untuk S_S
(Sumber : SNI 1726-2012)

Dari gambar di atas didapatkan MCE_R-S_S ($T = 0,2$ s) untuk wilayah Surabaya $S_S = 0,65$.



Gambar 6.2. Peta MCE_R untuk S_I ($T = 0,2$ s)
(Sumber : SNI 1726-2012)

Dari gambar di atas didapatkan MCE_R-S_1 ($T = 0,2$ s) untuk wilayah Surabaya $S_1 = 0,275$.

e. Penentuan Koefisien situs F_a dan F_v

Tabel 6.12. Koefisien situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

(Sumber : SNI 1726-2012)

Dari tabel diatas untuk $S_s = 0,65$ dengan kelas situs SE dengan interpolasi didapatkan nilai $F_a = 1,5$.

Tabel 6.13. Koefisien situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

(Sumber : SNI 1726-2012)

Dari tabel diatas untuk $S_1 = 0,275$ dengan kelas situs SE dengan interpolasi didapatkan nilai $F_v = 3$.

f. Parameter percepatan spektral respons

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,5 \cdot 0,65 = 0,975$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 3 \cdot 0,275 = 0,825$$

g. Parameter percepatan spektral desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} = \frac{2}{3} \cdot 0,975 = 0,65$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} = \frac{2}{3} \cdot 0,75 = 0,55$$

h. kategori desain seismik

Tabel 6.14. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek (S_{DS})

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2012)

Dari tabel diatas untuk $S_{DS} = 0,65$ dengan kategori risiko II termasuk dalam kategori desain seismik D.

Tabel 6.15. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik (S_{D1})

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2012)

Dari tabel diatas untuk $S_{D1} = 0,55$ dengan kategori resiko II termasuk dalam kategori desain seismik D.

- i. Kombinasi sistem perangkai dalam arah yang berbeda
Menentukan faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa.

Tabel 6.16. Faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya gempa	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batas sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^e
8. Dinding geser beton bertulang biasa	5%	2%	4%	TB	TB	TI	TI	TI

- j. Prosedur analisis gaya lateral
 - o Respon Spectrum gempa Rencana :

$$T_0 = \frac{0,2 \cdot S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,2 \cdot 0,55}{0,65} = 0,169 \text{ detik}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,55}{0,65} = 0,846 \text{ detik}$$

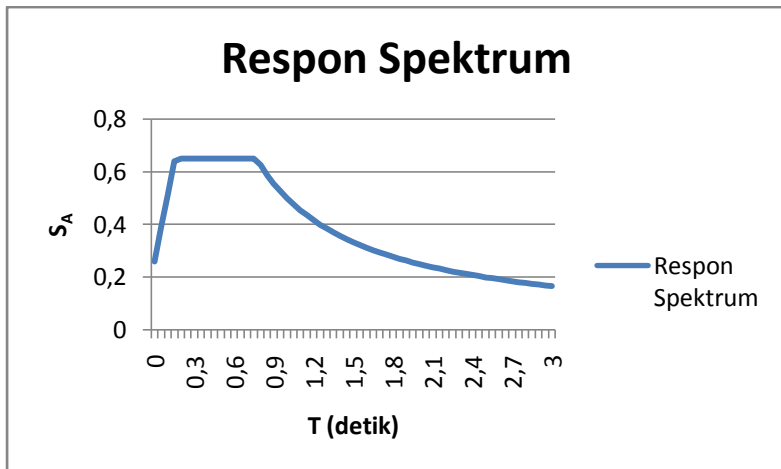
Pada $T = 0$ detik,

$$\begin{aligned} S_A &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\ &= 0,65 \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,169} \right) = 0,26 \text{ g} \end{aligned}$$

Pada $T > T_S$,

$$S_A = \frac{S_{D1}}{T}$$

Dari perumusan di atas maka akan didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 6.3. Respon spektrum rencana
untuk tanah lunak

o Periode getar struktur pendekatan

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

dimana :

h_n = Ketinggian struktur (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Tabel 6.17. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan menegakkan rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0486 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(Sumber : SNI 1726-2012)

Maka :

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \cdot h_n^x \\ &= 0,0466 \times 76,8^{0,75} \\ &= 1,266 \text{ detik} \end{aligned}$$

○ Periode getar struktur maksimum

$$T_{\max} < C_u \cdot T_a$$

Tabel 6.18. Koefisien untuk batas atas pada perioda yang hilang

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI 1726-2012)

Maka,

$$\begin{aligned} T_{\max} &< C_u \cdot T_a \\ &< 1,4 \times 1,266 \\ &< 2,0256 \text{ detik} \end{aligned}$$

○ Koefisien respon gempa

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,65}{\left(\frac{5,5}{1}\right)} = 0,118$$

dimana :

S_{DS} = Percepatan respon spektral rencana

R = Faktor modifikasi respon

I_e = Faktor keutamaan gempa

Kontrol nilai C_s

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T_a \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,65}{1,266 \left(\frac{5,5}{1}\right)} = 0,07877$$

$$\begin{aligned}
C_{S \min} &= 0.044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\
&= 0.044 \cdot 0.65 \cdot 1 \\
&= 0.0286 \\
C_{S \min} &\geq 0.01 \\
0.0286 &\geq 0.01 \quad (\text{Ok})
\end{aligned}$$

Nilai C_S tidak boleh lebih besar dari $C_{S \max}$ dan tidak boleh lebih kecil dari $C_{S \min}$

$$\begin{aligned}
C_{S \min} &< C_{S \max} < C_S \\
0,0286 &< 0,0787 < 0,118
\end{aligned}$$

Sehingga nilai $C_S = 0.0787$

6.5. Kontrol Drift (Simpangan Antar Lantai)

Kinerja batas layan struktur gedung sangat ditentukan oleh simpangan antar lantai akibat beban gempa rencana. Batas simpangan ini dimaksudkan untuk menjaga kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, serta membatasi peretakan pada beton secara berlebihan.

Nilai dari simpangan antar lantai dihitung dengan aplikasi program bantu struktur yang selanjutnya batasan simpangan tersebut dinyatakan dengan perumusan sesuai dengan SNI 03-1726-2012, pasal 12.6.4.4.

$$\begin{aligned}
\Delta_a &= 0,015 h_n \\
&= 0,015 \times 3000 \\
&= 45 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Dari kedua hasil perhitungan batas drift diambil nilai batas drift terkecil sebesar 22,9 mm. Hasil analisa simpangan per lantai disajikan dalam bentuk tabel :

Tabel 6.19. Simpangan per lantai

Tingkat	hi (m)	δx_e (mm)	δx (mm)	Drift (Δs)	Syarat Drift Δs (mm)	Ket
Basement	3650	1,01	4,54	1,01	54,75	Ok
Lantai 1	4000	2,42	10,88	28,53	60	Ok
Lantai 2	4000	3,92	17,65	30,45	60	Ok
Lantai 3	5200	6,72	30,24	56,67	78	Ok
Lantai 4	3000	7,81	35,12	21,98	45	Ok
Lantai 5	3000	8,96	40,32	23,38	45	Ok
Lantai 6	3000	10,09	45,41	22,88	45	Ok
Lantai 7	3000	11,19	50,36	22,28	45	Ok
Lantai 8	3000	12,25	55,10	21,36	45	Ok
Lantai 9	3000	13,21	59,43	19,48	45	Ok
Lantai 10	3000	13,22	59,49	0,24	45	Ok
Lantai 11	3000	15,12	68,04	38,50	45	Ok
Lantai 12	3000	15,98	71,90	17,35	45	Ok
Lantai 13	3000	16,77	75,45	16,00	45	Ok
Lantai 14	3000	17,50	78,73	14,74	45	Ok
Lantai 15	3000	18,16	81,72	13,45	45	Ok
Lantai 16	3000	18,76	84,41	12,13	45	Ok
Lantai 17	3000	19,29	86,81	10,81	45	Ok
Lantai 18	3000	19,76	88,90	9,38	45	Ok
Lantai 19	3000	20,15	90,65	7,90	45	Ok
Lantai 20	3000	20,26	91,17	2,31	45	Ok
Lantai 21	3000	20,40	91,79	2,81	45	Ok
Lantai 22	3000	20,59	92,65	3,87	45	Ok
Lantai 23	3000	20,93	94,19	6,95	45	Ok
Lantai 24	3600	20,99	94,45	1,13	54	Ok

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa simpangan yang terjadi pada gedung yang direncanakan ini baik simpangan arah x maupun arah y telah memenuhi syarat drift yang telah ditentukan. Sehingga struktur gedung tersebut telah memenuhi kinerja batas layan struktur.

6.6. Perhitungan Geser Dasar

Perhitungan beban geser dasar seismik

$$V = C_s \cdot W$$

dimana :

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat seismik efektif / berat total bangunan

Maka,

$$V = 0.0787 \cdot 28.025.445 = 2.205.602,521 \text{ kg}$$

Pada SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1 disebutkan apabila kombinasi respons untuk gaya dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari gaya geser dasar (V) menggunakan gaya lateral ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan oleh suatu faktor sebesar $0,85V/V_t$.

$$0,85V = 0,85 \times 2.205.602,521 \text{ kg} = 1.874.762,143 \text{ kg}$$

Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000 didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 6.20. Gaya geser dasar ragam (V_t)

Arah Beban Gempa	F_x (kg)	F_y (kg)
1,2D+L+E _y	390475,6	720156,52
1,2D+L+E _x	578208	411168

$$F_x = V_{xt} = 578208 \text{ kg}$$

$$F_y = V_{yt} = 720156,52 \text{ kg}$$

Maka untuk arah x :

$$0,85V = 1.874.762,143 \text{ kg} > 578208 \text{ kg} \rightarrow (\text{Not Ok})$$

Maka untuk arah y :

$$0,85V = 1.874.762,143 \text{ kg} > 720156,52 \text{ kg} \rightarrow (\text{Not Ok})$$

Oleh karena itu, untuk memenuhi persyaratan SNI-1726-2012 pasal 7.9.4.1, maka gaya geser tingkat nominal akibat rencana struktur gedung hasil analisis harus dikalikan $0,85V/V_t$

Maka untuk arah x :

$$\frac{0,85V}{V_{xt}} = \frac{1874762,143}{578208} = 3,24237 = 3,3$$

Maka untuk arah y :

$$\frac{0,85V}{V_{yt}} = \frac{1874762,143}{720156,52} = 2,60327 = 2,8$$

Setelah didapatkan faktor skala untuk masing - masing arah pembebanan, selanjutnya dilakukan analisa ulang struktur dengan mengalikan skala faktor yang diperoleh pada *define respons spectra*. Kemudian dilakukan running ulang pada program analisis. Hasil dari running ulang tersebut adalah :

Tabel 6.21. Gaya geser dasar ragam akhir (V_t)

Arah Beban Gempa	F_x (kg)	F_y (kg)
1,2D+L+E _y	1605785,35	2078097,93
1,2D+L+E _x	1881325,18	1727385,23

$$F_x = V_{xt} = 1881325,18 \text{ kg}$$

$$F_y = V_{yt} = 2078097,93 \text{ kg}$$

Maka untuk arah x :

$$0,85V = 1.874.762,143 \text{ kg} < 1881325,18 \text{ kg} \rightarrow (\text{Ok})$$

Maka untuk arah y :

$$0,85V = 1.874.762,143 \text{ kg} < 2078097,93 \text{ kg} \rightarrow (\text{Ok})$$

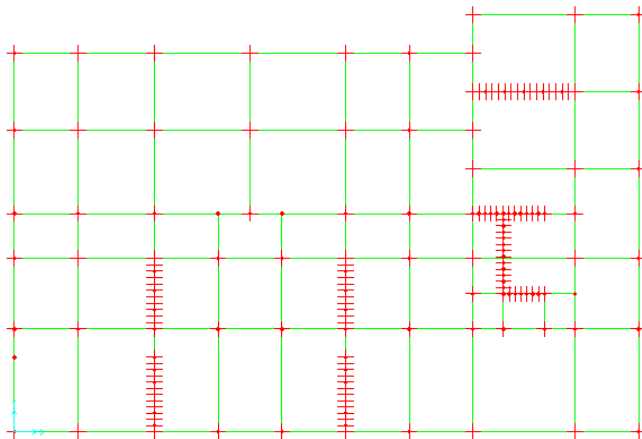
6.7. Kontrol Sistem Ganda

Sistem ganda merupakan sistem struktur yang beban gravitasinya dipikul sepenuhnya oleh *space frame* (Rangka), sedangkan beban lateralnya dipikul bersama oleh *space frame* dan *shear wall* (Dinding Geser / Dinding Struktur). *Space frame* sekurang - kurangnya memikul 25% dari beban lateral dan sisanya dipikul oleh *shear wall*.

Melalui program bantu SAP 2000. Kemampuan dari *shear wall* dan rangka gedung dalam menerima beban geser nominal akibat gempa rencana tersebut bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6.22. Persentase beban lateral

Persentase	RSPx (Arah X)		RSPy (Arah Y)	
	Frame	Dinding Geser	Frame	Dinding Geser
%	28 %	72%	28 %	72 %



Gambar 6.4. Letak dinding geser pada denah XY bangunan

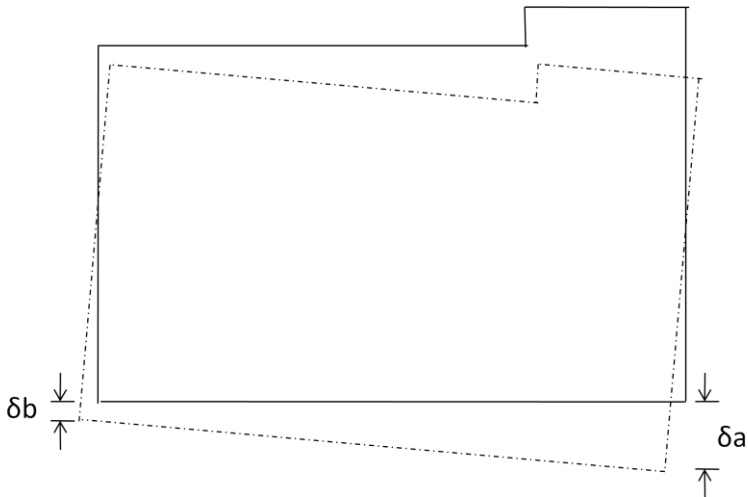
6.8. Kontrol Torsi Gedung

Pada SNI 1726 2012 pasal 7.8.4.3. Memberikan syarat untuk pembesaran momen torsi tak terduga di setiap lantai pada gedung. Berikut perumusannya :

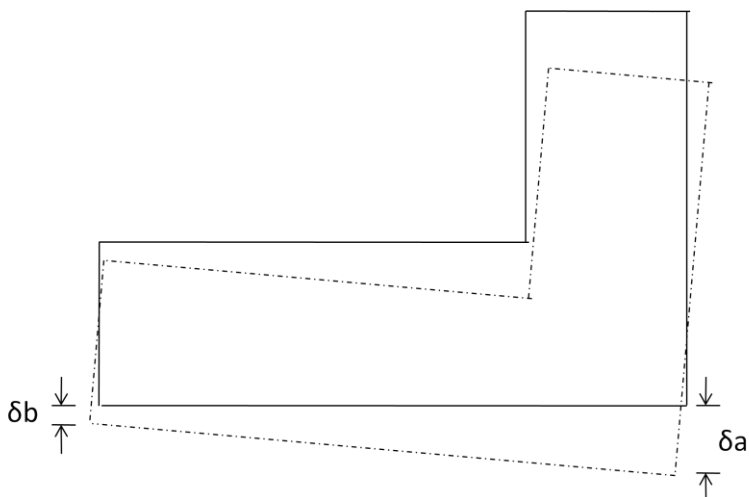
$$Ax = \left(\frac{\delta_{maksimum}}{1,2\delta_{rata-rata}} \right)^2 < 3 \text{ mm}$$

Maka dari program bantu SAP v14 dan excel dapat di tentukan faktor pembesaran torsi setiap lantai dalam tabel berikut.

Dari tabel dapat terlihat faktor pembesaran torsi setiap lantai kurang dari 3 mm. Maka torsi setiap lantai terkontrol baik.



Gambar 6.5. Simpangan lantai basement s/d 4



Gambar 6.6. Simpangan lantai 5 s/d atap

Tabel 6.23. Faktor pembesaran torsi

Lt	δa	δb	δa	δb	$\delta \text{ ave}$	$\delta \text{ max}$	A_x
Unit	meter		milimeter				unit
Base	0	0	0	0	0	0	0
1	-4E-04	-9E-05	0,424	0,092	0,258	0,424	1,17
2	-0,001	-3E-04	1,428	0,276	0,852	1,428	1,18
3	-0,003	-5E-04	2,723	0,504	1,6135	2,723	1,19
4	-0,005	-9E-04	4,699	0,874	2,7865	4,699	1,19
5	-0,006	-0,001	5,866	1,098	3,482	5,866	1,18
6	-0,007	-0,001	7,064	1,341	4,2025	7,064	1,18
7	-0,008	-0,002	8,284	1,601	4,9425	8,284	1,18
8	-0,01	-0,002	9,515	1,876	5,6955	9,515	1,18
9	-0,011	-0,002	10,747	2,164	6,4555	10,747	1,18
10	-0,012	-0,002	11,97	2,464	7,217	11,97	1,18
11	-0,013	-0,003	13,179	2,774	7,9765	13,179	1,17
12	-0,014	-0,003	14,365	3,093	8,729	14,365	1,17
13	-0,016	-0,003	15,524	3,419	9,4715	15,524	1,17
14	-0,017	-0,004	16,652	3,752	10,202	16,652	1,17

15	-0,018	-0,004	17,743	4,089	10,916	17,743	1,16
16	-0,0188	-0,004	18,795	4,429	11,612	18,795	1,16
17	-0,0198	-0,005	19,804	4,772	12,288	19,804	1,16
18	-0,021	-0,005	20,768	5,115	12,9415	20,768	1,16
19	-0,022	-0,005	21,687	5,459	13,573	21,687	1,15
20	-0,023	-0,006	22,561	5,801	14,181	22,561	1,15
21	-0,023	-0,006	23,39	6,141	14,7655	23,39	1,15
22	-0,024	-0,006	24,175	6,477	15,326	24,175	1,15
23	-0,025	-0,007	25,016	6,818	15,917	25,016	1,14
24	-0,026	-0,007	25,864	7,158	16,511	25,864	1,14
Atap	-0,027	-0,0076	26,837	7,568	17,2025	26,837	1,14

6.9. Kontrol P-Delta

Pada SNI 1726 2012 pasal 7.8.7. Memberikan dua syarat untuk pengaruh kontrol P-Delta di setiap lantai pada gedung. Berikut perumusannya

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x h_{zx} C_d} \leq 0,1 \text{ dan } \theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \leq 0,25$$

Berdasarkan perhitungan P_x dan Δ pada SAP2000, V_x pada perhitungan gempa ekuivalen, dan variabel C_d dan I_e pada SNI 1726-2012 maka dapat diperhitungkan pengaruh P-Delta. Berikut tabel perhitungan pengaruh P-Delta di setiap lantai.

Tabel 6.24. Kontrol pengaruh P-Delta

Lantai	Tinggi	Px	Δ	Vx	θ	Ket
	mm	kN	mm	kN		
1	3650	1,011	0,8	70,266	6,87E-09	Ok
2	4000	1,042	1,9	172,946	6,24E-09	Ok
3	4000	1,042	2,3	302,208	4,32E-09	Ok
4	5200	1,158	3,5	539,503	3,15E-09	Ok
5	3000	0,582	2,1	292,539	3,04E-09	Ok
6	3000	0,582	2,1	352,613	2,52E-09	Ok
7	3000	0,582	2,2	415,328	2,24E-09	Ok
8	3000	0,582	2,1	480,474	1,85E-09	Ok
9	3000	0,582	2,2	547,876	1,70E-09	Ok
10	3000	0,582	2,2	617,389	1,51E-09	Ok
11	3000	0,582	2,2	688,889	1,35E-09	Ok
12	3000	0,582	2,1	762,268	1,17E-09	Ok
13	3000	0,582	2,1	837,432	1,06E-09	Ok
14	3000	0,582	2,1	914,298	9,72E-10	Ok
15	3000	0,582	2	992,791	8,52E-10	Ok
16	3000	0,582	1,9	1072,844	7,49E-10	Ok
17	3000	0,582	1,9	1154,399	6,96E-10	Ok
18	3000	0,582	1,9	1237,399	6,49E-10	Ok
19	3000	0,582	1,7	1321,794	5,44E-10	Ok
20	3000	0,582	1,7	1407,540	5,11E-10	Ok
21	3000	0,582	1,6	1494,592	4,53E-10	Ok
22	3000	0,594	1,5	1582,913	4,09E-10	Ok
23	3000	0,431	1,5	1672,466	2,81E-10	Ok
24	3000	0,431	1,4	1763,216	2,48E-10	Ok
Atap	3600	0,471	1,7	956,854	5,06E-10	Ok

BAB VII

PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

7.1. Perencanaan Balok Induk

7.1.1. Penulangan Balok Induk

Dalam perencanaan ini, balok induk yang direncanakan menggunakan sistem pracetak. Maka dari itu, penulangan lentur balok induk tersebut harus memperhatikan dua kondisi, yaitu kondisi sebelum komposit dan kondisi setelah komposit. Dengan adanya dua kondisi tersebut nantinya akan dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk tersebut. Berikut adalah data perencanaan dari balok induk tersebut :

- Mutu Beton (f'_c) : 30 MPa
- Mutu Baja Tulangan (f_y) : 410 MPa
- Dimensi Balok Induk : 40/55 cm

a. Penulangan Lentur Sebelum Komposit

Pada kondisi sebelum komposit, balok pracetak dimodelkan sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Beban-beban yang digunakan untuk menghitung tulangan pada kondisi sebelum komposit adalah beban pelat yang sudah overtopping serta berat balok induk sendiri. Di dalam perhitungannya, beban-beban merata yang diterima oleh balok induk dihitung seluas setengah area pelat pertama ditambah setengah area pelat lainnya.

Pada kondisi sebelum komposit, balok hanya menerima beban mati dan beban hidup dari pelat pracetak, balok anak, serta berat dari balok induk itu sendiri. Dimensi balok induk sebelum komposit = 40/45. Bentang balok induk = 8 m.

Beban pada balok anak :

- Beban Mati
Berat balok anak = $0,25 \times 0,35 \times 2400 = 210 \text{ kg/m}$

$$\text{Berat Pelat} = 0,15 \times 2400 \times 7,5 = 2700 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total Beban mati balok anak (Q}_d\text{)}$$

$$= \text{Berat balok anak} + \text{Berat pelat}$$

$$= 210 + 2700 = 2910 \text{ kg/m}$$

▪ **Beban Hidup**

$$\text{Beban Pekerja} = 20\% \times Q_d$$

$$= 0,2 \times 2910$$

$$= 582 \text{ kg/m}$$

$$Q_U = 1,2D + 1,6 L$$

$$= 1,2(2910) + 1,6(582)$$

$$= 4423,2 \text{ kg/m}$$

Selanjutnya, beban merata pada balok anak (Q_u) akan disalurkan ke balok induk dalam bentuk terpusat (P_u).

$$P_u = 4423,2 \times 8$$

$$= 35385,6 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada tiap balok induk adalah berat sendiri balok induk dan beban terbagi rata pelat.

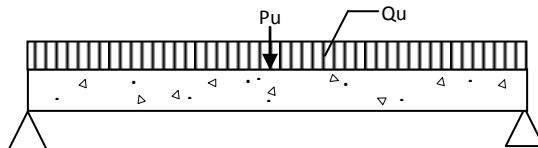
$$\text{Berat balok induk} = 0,4 \times 0,45 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$Q_u = 1,4D$$

$$= 1,4 \times 432$$

$$= 604,8 \text{ kg/m}$$

Dari perhitungan diatas dapat digambarkan pembebanan pada balok induk sebelum komposit sebagai berikut :



Gambar 7.1. Pembebanan Balok Induk Sebelum Komposit

$$M_u = \left(\frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times P_u \times L \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{1}{8} \times 604,8 \times 8^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times 35385,6 \times 8\right) \\
&= 146380,8 \text{ kgm}
\end{aligned}$$

Momen ultimate (Mu) yang akan dipakai dalam perhitungan tulangan balok induk sebelum komposit adalah 146380,8 kgm.

Perhitungan Tulangan Lentur

Dimensi balok induk 40/55

Bentang balok induk 8 m

Direncanakan menggunakan tulangan diameter 30 mm.

$$\rho_{\max} = 0,024$$

$$\rho_{\min} = 0,0034$$

$$Mu = 146380,8 \text{ kgm} = 1463808000 \text{ Nmm}$$

Pada saat sebelum komposit, perletakan dianggap sendi dan rol, maka momennya adalah nol. Namun tetap diberikan penulangan sebesar tulangan lapangan.

$$d_x = 550 - 150 - 40 - 16 - \frac{1}{2} \times 30$$

$$= 329 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
Rn &= \frac{Mu}{0,8 \times b \times d \times d^2} \\
&= \frac{1463808000}{0,8 \times 400 \times 329^2} \\
&= 4,226125 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m &= \frac{fy}{0,85 \times fc} \\
&= \frac{410}{0,85 \times 30} \\
&= 16,078
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\
&= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 4,2261}{410}} \right)
\end{aligned}$$

$$= 0,01134$$

Maka digunakan $\rho = 0,01134$. Sehingga didapatkan:

$$A_{S_{\text{Perlu}}} = 0,01134 \times 400 \times 329$$

$$= 1492,344 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan 2D30 ($A_s = 1413,7167 \text{ m}^2$).

Tulangan Tumpuan dipakai 2D30 ($A_s = 1413,7167 \text{ m}^2$).

b. Penulangan Lentur Sesudah Komposit Balok Melintang

Data Perencanaan Balok Induk Melintang :

- Dimensi Balok Induk = 25/35
- Panjang Balok Induk = 8 m
- Diameter Tulangan Utama = 25 mm
- Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm
- Tebal Decking = 40 mm

$$d_x = 350 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 287,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25 = 61 \text{ mm}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,81 \text{ (f'c-30)}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right)$$

$$= 0,0299$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0299 = 0,0224$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,0034$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{30}}{410} = 0,00334$$

ρ_{\min} dipilih yang terbesar yaitu 0,0034.

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} = \frac{410}{0.85 \times 30} = 16,078$$

Pada perencanaan kali ini, desain balok induk menggunakan tulangan rangkap, dimana dalam mendesain tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa bolak-balik (kiri dan kanan atau arah x dan arah y) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan penulangan yang digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap dengan mengambil jumlah tulangan yang paling besar.

- Balok Memanjang Eksterior

- $M_{\text{Tumpuan}} = - 2022261,6 \text{ Nmm}$
- $M_{\text{Lapangan}} = + 4596867,28 \text{ Nmm}$
- $dx = 520 \text{ mm}$

Perhitungan tulangan tumpuan :

$$Mu = - 2022261,6 \text{ Nmm}$$

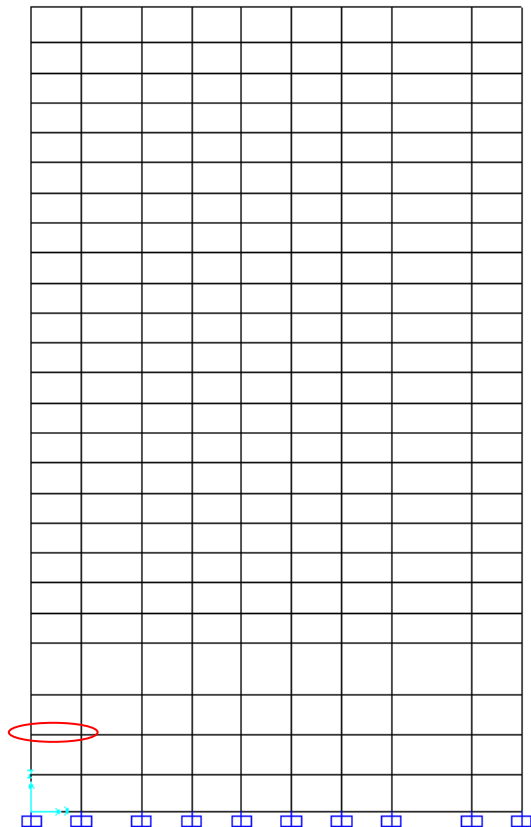
$$\delta = 0,4$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi . b . d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 2022261,6}{0,8 \times 350 \times 520^2} = 0,016$$

$$\begin{aligned} \rho\delta &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 0,016}{410}} \right) \\ &= 0,00004 \end{aligned}$$

$$\rho' = \frac{\delta Mn}{\phi . f_y . (d - d') . b . d}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,4 \times 2022261,6}{0,8 \cdot 410 \cdot (520 - 60') \cdot 350 \cdot 520} \\
 &= 0,00003 \\
 P &= \rho\delta + \rho' \\
 &= 0,000004 + 0,00003 \\
 &= 0,00007
 \end{aligned}$$



Gambar 7.2. Letak balok melintang eksterior

Karena, $\rho < \rho_{\min}$

$0,0007 < 0,0034$, maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0034$

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0034 \times 350 \times 520 \\ &= 618,8 \text{ mm}^2 \\ n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{Perlu}}}{A_{s\phi 12}} \\ &= \frac{618,8}{113,1} \\ &= 5,47 \approx 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 6D12 ($A_s = 678,6 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} A_s' &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0034 \times 350 \times 520 \\ &= 618,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 4D16 ($A_s = 804,25 \text{ mm}^2$).

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{678,6}{350 \times 520} = 0,00373 > \rho_{\min} \\ a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{678,6 \times 410}{0,85 \times 350 \times 30} = 31,174 \text{ mm} \\ \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0,8 \times 678,6 \times 410 \left(520 - \frac{31,174}{2} \right) \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 112.272,649,1 \text{ Nmm} > M_u = 2.022.261,6 \text{ Nmm (OK).}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{678,6}{350 \times 520} = 0,00373 \\ \rho' &= \frac{A_s'}{b \times d} = \frac{618,8}{350 \times 520} = 0,0034 \\ \rho - \rho' &\geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y} \\ 0,00033 &\geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,81 \times 60}{410 \times 520} \times \frac{600}{600 - 410} \\ 0,00033 &\geq 0,018 \text{ (tulangan tekan belum leleh)} \\ f_y' &= 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y \end{aligned}$$

$$f's = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{(0,00033) \times 410} \times \frac{60}{520} \right| \leq f_y$$

$$f's = 9968,82 \leq f_y \rightarrow (\text{Tulangan dalam kondisi tarik}).$$

Diambil $f's = 9968,82 \text{ Mpa}$

$$a = \frac{A_s \times f_y - A's \times f's}{0,85 \times f'c \times b \times w}$$

$$= \frac{678,6 \times 410 - 618,8 \times 9968,82}{0,85 \times 30 \times 410}$$

$$= 563,413 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A's \times f's) \times (d - \frac{a}{2}) + A's \times f's \times (d - d')$$

$$= (618,8 \times 410 - 618,8 \times 9968,82) \times (520 - \frac{563,413}{2}) + 618,8 \times 9968,82 \times (520 - 60)$$

$$= 424711020,743 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 424711020,743 \text{ Nmm}$$

$$= 339768816,6 \text{ Nmm} > 2022261,6 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK!})$$

Perhitungan tulangan lapangan :

Perhitungan Balok T

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 600 = 150 \text{ cm}$$

$$be_1 = b_w \times 16t = 35 + 16 \times 15 = 275 \text{ cm}$$

$$be_1 = \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (600 - 35) = 282,5 \text{ cm}$$

$$b = be = 150 \text{ cm}$$

Contoh perhitungan tulangan Lapangan :

$$M_u = 4596867,28 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta) M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 4596867,28}{0,8 \times 350 \times 520^2} = 0,0486$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 0,0486}{410}} \right)$$

$$= 0,00012$$

$$\begin{aligned}
 \rho' &= \frac{\delta M_n}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\
 &= \frac{0,2 \times 4596867,28}{0,8 \cdot 410 \cdot (520 - 60') \cdot 350 \cdot 520} \\
 &= 0,0000335 \\
 P &= \rho \delta + \rho' \\
 &= 0,00012 + 0,000035 \\
 &= 0,000175
 \end{aligned}$$

Karena, $\rho < \rho_{\min}$
 $0,000175 < 0,0034$, maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0034$.
 Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0034 \times 350 \times 520 \\
 &= 618,8 \text{ mm}^2 \\
 n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{Perlu}}}}{A_{S_{\phi 12}}} \\
 &= \frac{618,8}{113,1} \\
 &= 5,47 \approx 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 6D12 ($A_s = 678,6 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}
 A_s' &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0034 \times 350 \times 520 \\
 &= 618,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 4D16 ($A_s = 804,25 \text{ mm}^2$).

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{678,6}{350 \times 520} = 0,00373 > \rho_{\min} \\
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{678,6 \times 410}{0,85 \times 350 \times 30} = 31,174 \text{ mm} \\
 \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 0,8 \times 678,6 \times 410 \left(520 - \frac{31,174}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 112.272,649,1 \text{ Nmm} > M_u = 4.596.867,28 \text{ Nmm (OK)}.$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{678,6}{350 \times 520} = 0,00373$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{618,8}{350 \times 520} = 0,0034$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,00033 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,81 \times 60}{410 \times 520} \times \frac{600}{600 - 410}$$

$$0,00033 \geq 0,018 \text{ (tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f's = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f's = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{(0,00033) \times 410} \times \frac{60}{520} \right| \leq f_y$$

$$f's = 9968,82 \leq f_y \rightarrow \text{(Tulangan dalam kondisi tarik).}$$

Diambil $f's = 9968,82 \text{ Mpa}$

$$a = \frac{A_s \times f_y - A_s' \times f's}{0,85 \times f_c' \times b_w} = \frac{678,6 \times 410 - 618,8 \times 9968,82}{0,85 \times 30 \times 410}$$

$$= 563,413 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A_s' \times f's) \times (d - \frac{a}{2}) + A_s' \times f's \times (d - d')$$

$$= (618,8 \times 410 - 618,8 \times 9968,82) \times (520 - \frac{563,413}{2}) + 618,8$$

$$\times 9968,82 \times (520 - 60)$$

$$= 424711020,743 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 424711020,743 \text{ Nmm}$$

$$= 339768816,6 \text{ Nmm} > 4596867,28 \text{ Nmm} \rightarrow \text{(OK!)}$$

Cek Balok T Palsu

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 618,8 \cdot 410$$

$$= 253708 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_e \cdot h_f$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 3500 \cdot 150$$

$$= 13387500 \text{ N}$$

Karena $C > T$, maka balok dianggap sebagai balok T palsu yang berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b_e .

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_e} = \frac{618,8 \times 410}{0,85 \times 30 \times 3500}$$

$$= 2,843 \text{ mm} < t = 150 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w \times d}$$

$$= \frac{618,8}{1500 \times 520}$$

$$= 0,00079 < \rho_{\text{min}} = 0,0034$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

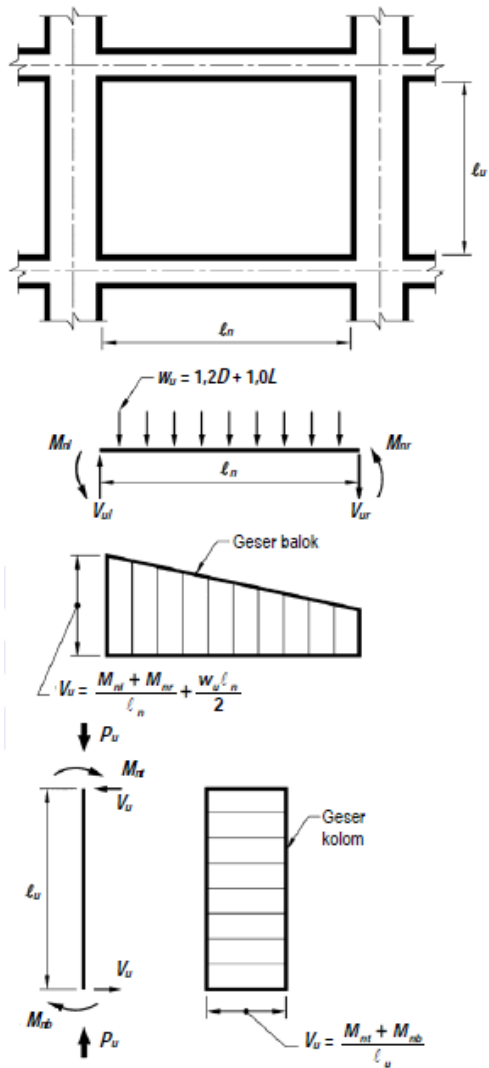
$$= 0,8 \cdot 618,8 \cdot 410 \cdot \left(520 - \frac{2,843}{2}\right)$$

$$= 105254011,3 \text{ Nmm} > 4596867,28 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK})$$

- Penulangan Geser

Penulangan geser balok induk pada sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) didasarkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.1 dimana nilai gaya geser rencana yang digunakan untuk perencanaan desain bukan hanya pada gaya geser yang terjadi, namun harus memenuhi persyaratan yang ada sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.3

- Jumlah gaya lintang yang terjadi akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk beban gempa dimana nilai beban gempa diambil sebesar dua kali lipat nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.



Gambar 7.3. Gaya lintang rencana pada struktur (SNI2847-2013)

Berikut adalah perumusan perhitungan gaya lintang pada balok :

$$V_u = \frac{Mn_1 + Mn_2}{l_n} + \frac{W_u + l_n}{2}$$

Dari persyaratan yang telah ditetapkan di atas maka besarnya gaya geser rencana dilakukan dengan membandingkan nilai momen nominal ujung balok (pada muka kolom) ditambah dengan gaya geser beban gravitasi berfaktor.

Contoh : Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Melintang Eksterior

Balok Induk = 25/35

Pada penulangan geser daerah tumpuan, menggunakan nilai momen tulangan nominal yang terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan tumpuan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$Mn_1 = Mn_2 = 4596867,28 \text{ Nmm} = 4,59686728 \text{ kNm}$$

$$L_n = 5 \text{ m}$$

$$W_u = 4981,25 \text{ kg} = 48,849 \text{ kN}$$

$$V_{u\text{Tump}} = \frac{4,597 + 4,597}{5} + \frac{48,849 \times 5}{2}$$

$$= 123,9613 \text{ kN}$$

Pemasangan Senggang Daerah Sendi Plastis

$$V_u = 123,9613 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 250 \cdot 520$$

$$= 118673,221 \text{ N}$$

$$= 118,673 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 118,673$$

$$= 89 \text{ kN}$$

Sisa besarnya gaya geser rencana yang lain dipikul oleh kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Besarnya gaya geser rencana yang dipikul oleh tulangan geser sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{123,9613}{0,75} - 118,673 \\
 &= 46,609 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan geser 2 ϕ 10mm ($A_v=157,08 \text{ mm}^2$).

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 410 \times 520}{46609} = 718,519 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 520/4 = 130 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 12 = 96 \text{ mm}$
- $24 \phi = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$
- 300 mm

Maka jarak antar maksimum sengkang didaerah sendi plastis $s = 130 \text{ mm}$.

- Sehingga nilai kuat geser diperoleh :
- $V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{157,08 \times 410 \times 520}{130}$
 $= 257611,2 \text{ N}$
 $= 257,611 \text{ kN}$
- $\phi V_s = 0,75 \times 257,611$
 $= 193,2084 \text{ kN}$
- $\Phi(V_c + V_s) = 257,611 + 193,2084$
 $= 450,819 \text{ kN} > 123,9613 \text{ kN}.$

Sengkang yang dipasang 2 ϕ 10 mm sejarak 130mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sebagai berikut :

- S_{\max} sepanjang sendi plastis diujung balok $2h = 2 \times 350 = 700 \text{ mm}$.
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50mm dari muka tumpuan.

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.2.

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c} \\ &= \frac{2}{3} \times 250 \times 520 \times \sqrt{30} \\ &= 474692,8832 \text{ N} \\ &= 474,693 \text{ kN} > 123,9613 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sehingga sengkang 2 ϕ 10-130 dapat digunakan.

Pemasangan Sengkang di Luar Daerah Sendi Plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 700 mm ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur dengan besar beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

$$V_u = 123,9613 \text{ kN}$$

Pemasangan tulangan geser untuk SRPMM memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton dengan perumusan sebesar :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 250 \cdot 520 \\ &= 118673,221 \text{ N} \\ &= 118,673 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 118,673 \\ &= 89 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi V_c &= 0,5 \times 89 \\ &= 44,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$\phi V_c < V_u$, maka digunakan tulangan geser minimum sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6.

$$A_v = \frac{1}{3} \times \frac{b_w \times S}{f_y}$$

Direncanakan tulangan geser 2 ϕ 10 mm ($A_v = 157,08 \text{ mm}^2$), maka :

$$S = \frac{3 \cdot f_y \cdot A_v}{b_w} = \frac{3 \times 410 \times 157,08}{350} = 552,024 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 520/4 = 130 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 12 = 96 \text{ mm}$
- $24\phi = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$
- 300 m

Atau diambil nilai sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5 mengenai batas spasi tulangan geser minimum :

$$S = \frac{d}{3} = \frac{520}{2} = 130 \text{ mm}$$

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis $s = 130 \text{ mm}$.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{157,08 \times 410 \times 520}{130}$$

$$= 257611,2 \text{ N}$$

$$= 257,611 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 257,611$$

$$= 193,21 \text{ kN}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 118,673 + 193,21$$

$$= 311,8814 \text{ kN} > 123,9613 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c}$$

$$= \frac{2}{3} \times 250 \times 520 \times \sqrt{30}$$

$$= 474692,8832 \text{ N}$$

$$= 474,693 \text{ kN} > 123,961 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Sehingga sengkang $2\phi 10-130$ dapat digunakan.

Perencanaan Torsi

Perencanaan torsi pada SNI 03-2847-2013 bab 11 tentang geser dan puntir, garis besarnya adalah :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi didasarkan pada perumusan berikut :

$$T_u \pm \phi T_n$$

Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_{t, f_{yf}}}{s} \cdot \cot \theta$$

Dimana :

Φ = Faktor reduksi geser dan torsi (0,75)

T_n = Kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_{u_{\min}}$)

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = Kuat momen torsi nominal yang disumbang oleh beton.

A_o = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm^2 .

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm^2 .

f_{yv} = Kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

s = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.

$$T_{u_{\min}} = \frac{\phi \sqrt{f_{c'}}}{3} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1}$$

Dimana :

ϕ = faktor reduksi kekuatan

$f_{c'}$ = kuat tekan beton (Mpa)

A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (Mpa).

P_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm).

Contoh Perhitungan Penulangan Torsi

Balok Induk = 40/55

T_u = 5346032,35 Nmm

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.1 karena balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi momen puntir, maka momen puntir terfaktor maksimum dapat dikurangi menjadi :

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2}$$

$$T_u < \frac{0,75 \cdot \sqrt{30}}{3} \cdot \left(\frac{(400 \times 550)^2}{2 \times (400 + 550)} \right)$$

$$5346032,35 \text{ Nmm} < 34881278,66 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan hanya dilakukan perhitungan geser saja.

Kontrol Lendutan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

- a. Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{L}{16}$$

- b. Balok dengan satu ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5}$$

- c. Balok dengan dua ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{21}$$

Lendutan tidak perlu dihitung, sebab sejak dari preliminary design sudah direncanakan agar tinggi dari masing-masing type balok lebih besar dari persyaratan h_{\min} .

Kontrol Retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa sehingga mampu membatasi retak lentur yang terjadi. Apabila tegangan leleh rencana (f_y) untuk tulangan tarik melebihi 300 Mpa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus harus diproporsikan sedemikian hingga nilai Z yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d c \cdot A} \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 pasal 10.6}$$

Z tidak boleh melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan.

Dimana :

F_s = Tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, f_s dapat diambil 0,6 f_y .

D_c = Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan.

$$= \text{decking} + \phi_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. utama}}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (dalam hal ini diambil selebar 1m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1m tersebut.

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

Dimana :

n = jumlah batang tulangan per lebar balok b

Untuk daerah lapangan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 60}{3} = 16000 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{60 \cdot 16000}$$

$$= 23675,636 \text{ N/mm} = 23,676 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

Untuk daerah tumpuan:

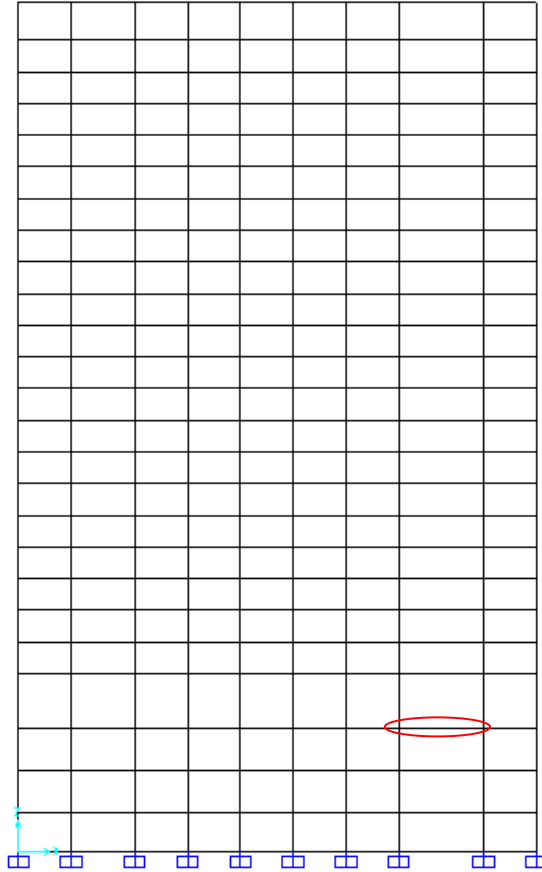
$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 60}{8} = 6000 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{60 \cdot 6000}$$

$$= 17073,089 \text{ N/mm} = 17,073 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

- **Balok Melintang Interior**



Gambar 7.4. Balok melintang interior

- $M_{\text{Tumpuan}} = - 104604269 \text{ Nmm}$
- $M_{\text{Lapangan}} = + 52302134,4 \text{ Nmm}$
 $dx = 520 \text{ mm}$

Perhitungan tulangan tumpuan :

$$Mu = - 104604269 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$Rn = \frac{(1-\delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1-0,4) \times 104604269}{0,8 \times 400 \times 520^2} = 0,7253$$

$$\begin{aligned} \rho\delta &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 0,7253}{410}} \right) \\ &= 0,00179 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta Mn}{\phi \cdot fy \cdot (d-d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 104604269}{0,8 \cdot 410 \cdot (520-60) \cdot 400 \cdot 520} \\ &= 0,00133 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= \rho\delta + \rho' \\ &= 0,00179 + 0,00133 \\ &= 0,003123 \end{aligned}$$

Karena, $\rho < \rho_{\min}$

$0,003123 < 0,0034$ maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0193$.

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} As_{\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003469 \times 400 \times 520 \\ &= 721,552 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{As_{\text{Perlu}}}{As_{\phi 12}} \\ &= \frac{721,552}{113,097} \\ &= 6,3799 \approx 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 8D12 ($As = 904,78 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} As' &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0034 \times 400 \times 520 \\ &= 707,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 4D16 ($As = 804,25 \text{ mm}^2$).

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{904,78}{400 \times 520} = 0,00435 > \rho_{\min}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{904,78 \times 410}{0,85 \times 400 \times 30} = 36,369 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 904,78 \times 400 \left(520 - \frac{36,369}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 145290441 \text{ Nmm} > M_u = 104604269 \text{ Nmm (OK).}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{904,78}{400 \times 520} = 0,00435$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{707,2}{400 \times 520} = 0,0034$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,00095 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,81 \times 60}{400 \times 520} \times \frac{600}{600 - 410}$$

$$0,00095 \geq 0,019 \text{ (tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{(0,00095) \times 410} \times \frac{60}{520} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 307,125 \leq f_y \rightarrow \text{(Tulangan dalam kondisi tekan).}$$

Diambil $f'_s = 307,125 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times f'_c \times b_w} \\ &= \frac{904,78 \times 410 - 707,2 \times 307,125}{0,85 \times 30 \times 400} \end{aligned}$$

$$= 15,075 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times (d - \frac{a}{2}) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (904,78 \times 410 - 707,2 \times 307,125) \times (520 - \frac{15,075}{2}) +$$

$$707,2 \times 307,125 \times (520 - 60)$$

$$= 210846728,245 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 210846728,245 \text{ Nmm}$$

$$= 168677382,6 \text{ Nmm} > 104604269 \text{ Nmm} \rightarrow \text{(OK!)}$$

Perhitungan tulangan lapangan :

Perhitungan Balok T

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 800 = 200 \text{ cm}$$

$$be_1 = bw \times 16t = 40 + 16 \times 15 = 280 \text{ cm}$$

$$be_1 = \frac{1}{2} \times (L_b - bw) = \frac{1}{2} \times (800 - 40) = 380 \text{ cm}$$

$$b = be = 200 \text{ cm}$$

Contoh perhitungan tulangan Lapangan :

$$Mu = + 52302134,4 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 52302134,4}{0,8 \times 400 \times 520^2} = 0,4836$$

$$\begin{aligned} \rho \delta &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 0,4836}{410}} \right) \\ &= 0,00119 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta Mn}{\phi \cdot fy \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 52302134,4}{0,8 \cdot 410 \cdot (520 - 60) \cdot 400 \cdot 520} \\ &= 0,000666 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0,00119 + 0,000666 \\ &= 0,00185663 \end{aligned}$$

Karena, $\rho < \rho_{\min}$

$0,00185663 < 0,0034$ maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,0034$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0034 \times 400 \times 520 \\ &= 707,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S\text{Perlu}}}{A_{S\phi 16}}$$

$$= \frac{707,2}{201,062} = 3,517 \approx 4 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur 4D16 ($A_s = 804,248 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} A_s' &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00186 \times 400 \times 520 \\ &= 386,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 2D16 ($A_s = 307,876 \text{ mm}^2$).

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{707,2}{400 \times 520} = 0,0034 > \rho_{\min} \\ a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{707,2 \times 410}{0,85 \times 400 \times 30} = 28,426667 \text{ mm} \\ \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0,8 \times 707,2 \times 410 \left(520 - \frac{28,426667}{2} \right) \\ \phi M_n &= 117323084 \text{ Nmm} > M_u = 52302134,4 \text{ Nmm (OK).} \end{aligned}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{707,2}{400 \times 520} = 0,0034 \\ \rho' &= \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{386,88}{400 \times 520} = 0,00186 \\ \rho - \rho' &\geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y} \\ 0,00154 &> \frac{0,85 \times 30 \times 0,81 \times 60}{410 \times 520} \times \frac{600}{600 - 410} \\ 0,00154 &< 0,018356 \text{ (tulangan tekan belum leleh)} \\ f'_s &= 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y \\ f'_s &= 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,81 \times 30}{(0,00154) \times 410} \times \frac{60}{520} \right| \leq f_y \\ f'_s &= 169,508 < f_y \rightarrow \text{(Tulangan dalam kondisi tekan).} \end{aligned}$$

Maka diambil $f'_s = 169,508 \text{ Mpa}$.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y - A_s' \times f'_s}{0,85 \times f'_c \times b_w} \\ &= \frac{707,2 \times 410 - 386,88 \times 169,508}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 21,997 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \times f'_s \times (d - d') \\
&= (707,2 \times 410 - 386,88 \times 169,508) \times \left(520 - \frac{21,997}{2}\right) + \\
&\quad 386,88 \times 169,508 \times (520 - 60) \\
&= 144372521,062 \text{ Nmm} \\
\phi M_n &= 0,8 \times 144372521,062 \\
&= 115498016,8 \text{ Nmm} > 52302134,4 \text{ Nmm}.
\end{aligned}$$

Cek Balok T Palsu

$$\begin{aligned}
T &= A_s \cdot f_y \\
&= 707,2 \cdot 410 \\
&= 289952 \text{ N} \\
C &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot h_f \\
&= 0,85 \cdot 30 \cdot 4000 \cdot 150 \\
&= 15300000 \text{ N}
\end{aligned}$$

Karena $C > T$, maka balok dianggap sebagai balok T palsu yang berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b_e .

$$\begin{aligned}
a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_e} = \frac{707,2 \times 410}{0,85 \times 30 \times 4000} \\
&= 2,843 \text{ mm} < t = 150 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho_{\text{aktual}} &= \frac{A_s}{b_w \times d} \\
&= \frac{707,2}{1800 \times 520} \\
&= 0,0007555 < \rho_{\min} = 0,0034
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi M_n &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= 0,8 \cdot 707,2 \cdot 410 \cdot \left(520 - \frac{2,843}{2}\right) \\
&= 120290298,6 \text{ Nmm} > 52302134,4 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK})
\end{aligned}$$

- Penulangan Geser

Contoh : Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Melintang Interior

$$\text{Balok Induk} = 40/55$$

Pada penulangan geser daerah tumpuan, menggunakan nilai momen tulangan nominal yang terpasang dengan asumsi

tumpuan kiri dan tumpuan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$Mn_1 = Mn_2 = 104604269 \text{ Nmm} = 104,604 \text{ kNm}$$

$$L_n = 8 \text{ m}$$

$$W_u = 125,054 \text{ kN}$$

$$Vu_{Tump} = \frac{104,604 + 104,604}{8} + \frac{125,054 \times 8}{2}$$

$$= 525,367 \text{ kN}$$

Dari hasil SAP 2000 v 14 didapatkan $Vu = 78,4532 \text{ kN}$. Sehingga nilai Vu yang menentukan ialah $525,367 \text{ kN}$.

Pemasangan Sengkang Daerah Sendi Plastis

$$Vu = 525,367 \text{ kN}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 520$$

$$= 189877,1533 \text{ N}$$

$$= 189,877 \text{ kN}$$

$$\phi Vc = 0,75 \times 189,877$$

$$= 142,40775 \text{ kN}$$

Sisa besarnya gaya geser rencana yang lain dipikul oleh kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Besarnya gaya geser rencana yang dipikul oleh tulangan geser sebagai berikut :

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - Vc$$

$$= \frac{525,367}{0,75} - 189,877$$

$$= 510,612 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan geser $2\phi 16 \text{ mm}$ ($Av = 402,124 \text{ mm}^2$).

$$S = \frac{As \times fy \times d}{Vs} = \frac{402,124 \times 400 \times 520}{510612} = 163,807 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 520/4 = 130 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\emptyset = 24 \times 16 = 384 \text{ mm}$
- 300 m

Maka jarak antar maksimum sengkang didaerah sendi plastis $s = 130 \text{ mm}$.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{402,124 \times 400 \times 520}{130} \\
 &= 643398,4 \text{ N} \\
 &= 643,398 \text{ kN} \\
 \phi V_s &= 0,75 \times 643,398 \\
 &= 482,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi(V_c + V_s) &= 142,40775 + 482,56 \\
 &= 624,956 \text{ kN} > 525,367 \text{ kN}.
 \end{aligned}$$

Sengkang yang dipasang $2\emptyset 16 \text{ mm}$ sejarak 130 mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sebagai berikut :

- S_{\max} sepanjang sendi plastis diujung balok $2h = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}$.
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c} \\
 &= \frac{2}{3} \times 400 \times 520 \times \sqrt{30} \\
 &= 759508,6131 \text{ N} \\
 &= 759,508 \text{ kN} > 525,367 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sehingga sengkang $2\emptyset 16-130$ dapat digunakan.

Pemasangan Sengkang di Luar Daerah Sendi Plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1200 mm ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur

dengan besar beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

$$V_u = 39,226 \text{ kN} \rightarrow (\text{dari SAP 2000 v.14})$$

Pemasangan tulangan geser untuk SRPMM memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton dengan perumusan sebesar :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 520 \\ &= 189877,1533 \text{ N} \\ &= 189,877 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 189,877 \\ &= 142,40775 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi V_c &= 0,5 \times 142,40775 \\ &= 71,204 \text{ kN} \end{aligned}$$

$V_u < 0,5 \cdot \phi V_c$, maka digunakan tulangan geser minimum sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6

$$A_v = \frac{1}{3} \times \frac{bw \times S}{f_y}$$

Direncanakan tulangan geser 2 ϕ 14 mm ($A_v = 307,876 \text{ mm}^2$), maka :

$$S = \frac{3 \cdot f_y \cdot A_v}{bw} = \frac{3 \times 410 \times 307,876}{400} = 946,7187 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 520/4 = 130 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\phi = 24 \times 14 = 336 \text{ mm}$
- 300 mm

Atau diambil nilai sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5 mengenai batas spasi tulangan geser minimum :

$$S = \frac{d}{3} = \frac{520}{2} = 260 \text{ mm}$$

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis $s = 260 \text{ mm}$.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis $s = 260 \text{ mm}$.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{307,876 \times 410 \times 520}{260}$$

$$= 252458,32 \text{ N}$$

$$= 252,458 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 252,458$$

$$= 189,343 \text{ kN}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 142,40775 + 189,343$$

$$= 331,751 \text{ kN} > 39,226 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c}$$

$$= \frac{2}{3} \times 400 \times 520 \times \sqrt{30}$$

$$= 759508,6131 \text{ N}$$

$$= 759,508 \text{ kN} > 39,226 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Sehingga sengkang $2\phi 14-260$ dapat digunakan.

- Penulangan Torsi

Perencanaan torsi pada SNI 03-2847-2013 bab 11 tentang geser dan puntir, garis besarnya adalah :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$V_u \pm \phi V_n$$

Dimana : V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

V_n = Kuat geser nominal yang ditinjau.

$$V_n = V_c + V_s$$

Φ = faktor reduksi geser (0,75)

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi didasarkan pada perumusan berikut :

$$T_u \pm \phi T_n$$

Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_{t.f.yf}}{s} \cdot \cot \theta$$

Dimana :

Φ = Faktor reduksi geser dan torsi (0,75)

T_n = Kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_{u_{min}}$)

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = Kuat momen torsi nominal yang disumbang oleh beton.

A_o = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm^2 .

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm^2 .

f_{yv} = Kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

s = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.

$$T_{u_{min}} = \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1}$$

Dimana :

ϕ = faktor reduksi kekuatan

f_c' = kuat tekan beton (Mpa)

A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (Mpa).

P_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm).

Contoh Perhitungan Penulangan Torsi

Balok Induk = 40/55

T_u = 5726032,35 Nmm

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.1 karena balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi momen puntir, maka momen puntir terfaktor maksimum dapat dikurangi menjadi :

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2}$$

$$T_u < \frac{0,75 \cdot \sqrt{30}}{3} \cdot \left(\frac{(400 \times 550)^2}{2 \times (400 + 550)} \right)$$

$$5346032,35 \text{ Nmm} < 5726032,35 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan hanya dilakukan perhitungan geser saja.

Kontrol Lendutan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

d. Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{L}{16}$$

e. Balok dengan satu ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5}$$

f. Balok dengan dua ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{21}$$

Lendutan tidak perlu dihitung, sebab sejak dari preliminary design sudah direncanakan agar tinggi dari masing-masing type balok lebih besar dari persyaratan h_{\min} .

Kontrol Retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa sehingga mampu membatasi retak lentur yang terjadi. Apabila tegangan leleh rencana (f_y) untuk tulangan tarik melebihi 300 Mpa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus harus diproporsikan sedemikian hingga nilai Z yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d c \cdot A} \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 pasal 10.6}$$

Z tidak boleh melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan.

Dimana :

F_s = Tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, f_s dapat diambil 0,6 f_y .

D_c = Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan.

$$= \text{decking} + \phi_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. utama}}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (dalam hal ini diambil selebar 1m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1m tersebut.

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

Dimana :

n = jumlah batang tulangan per lebar balok b

Untuk daerah lapangan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 60}{3} = 16000 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{60 \cdot 16000}$$

$$= 23675,636 \text{ N/mm} = 23,676 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

Untuk daerah tumpuan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 60}{8} = 6000 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{60 \cdot 6000}$$

$$= 17073,089 \text{ N/mm} = 17,073 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

c. Penulangan Lentur Sesudah Komposit Balok Memanjang

Data Perencanaan Balok Induk Melintang :

- Dimensi Balok Induk = 20/35
- Panjang Balok Induk = 5,4 m

- Diameter Tulangan Utama = 20 mm
 - Diameter Tulangan Senggang = 8 mm
 - Tebal Decking = 40 mm
- $$dx = 350 - 40 - 8 - \frac{1}{2} \times 20 = 292 \text{ mm}$$
- $$d' = 40 + 8 + \frac{1}{2} \times 20 = 58 \text{ mm}$$
- $$b = 200 \text{ mm}$$
- $$\beta_1 = 0,85 \text{ (} f_c = 30 \text{ MPa)}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right)$$

$$= 0,0314$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0314 = 0,02355$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,0034$$

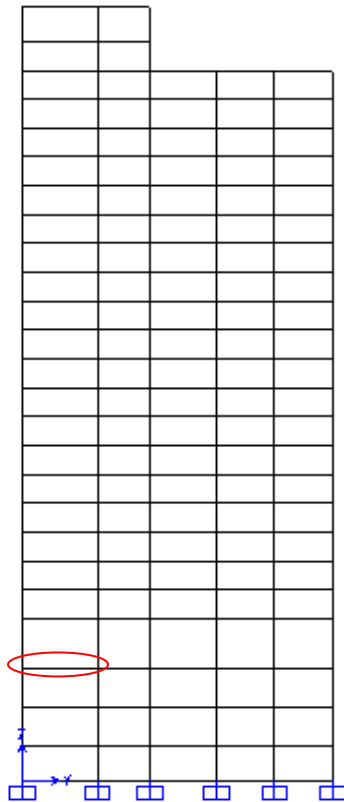
$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{30}}{410} = 0,00334$$

ρ_{\min} dipilih yang terbesar yaitu 0,0034.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{410}{0,85 \times 30} = 16,078$$

Pada perencanaan kali ini, desain balok induk menggunakan tulangan rangkap, dimana dalam mendesain tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa bolak-balik (kiri dan kanan atau arah x dan arah y) yang akan menghasilkan momen

positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan penulangan yang digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap dengan mengambil jumlah tulangan yang paling besar. Berikut adalah tabel dari hasil analisa *software* SAP 2000, didapatkan momen yang tersaji dalam tabel :



Gambar 7.5. Letak balok memanjang eksterior

- $M_{\text{Tumpuan}} = - 98707105 \text{ Nmm}$

- $M_{Lapangan} = + 53751393,85 \text{ Nmm}$
- $dx = 292 \text{ mm}$

Perhitungan tulangan tumpuan :

$$M_u = - 98707105 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta)M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 98707105}{0,8 \times 250 \times 520^2} = 1,095$$

$$\begin{aligned} \rho \delta &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 1,095}{410}} \right) \\ &= 0,00273 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta M_n}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 98707105}{0,8 \cdot 410 \cdot (520 - 60') \cdot 250 \cdot 520} \\ &= 0,00201 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \rho \delta + \rho' \\ &= 0,0273 + 0,00201 \\ &= 0,02931 \end{aligned}$$

Karena, $\rho_{\max} < \rho$

$0,02355 < 0,02931 \rightarrow (\text{OK!})$, maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,02355$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,02355 \times 250 \times 520 \\ &= 3061,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{Perlu}}}{A_{s\phi 22}} \\ &= \frac{3061,5}{380,1327} \\ &= 8,053 \approx 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 9D22 ($A_s = 3421,1944 \text{ mm}^2$).

$$A_s' = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00201 \times 250 \times 520$$

$$= 261,3 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan tekan 2D16 ($A_s = 402,124 \text{ mm}^2$).

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{3421,1944}{200 \times 520} = 0,0329 < \rho_{\max}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c} = \frac{3421,1944 \times 410}{0,85 \times 200 \times 30} = 275,037 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 3421,1944 \times 410 \left(520 - \frac{275,037}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 429202289,6 \text{ Nmm} > M_u = 98707105 \text{ Nmm}$$

(OK).

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{3421,1944}{200 \times 520} = 0,033$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{261,3}{200 \times 520} = 0,00251$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,0305 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 60}{410 \times 520} \times \frac{600}{600 - 410}$$

$$0,0305 \geq 0,00362 \text{ (tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{(0,0305) \times 410} \times \frac{60}{520} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 480 > f_y \rightarrow \text{(Tulangan dalam kondisi tarik).}$$

Diambil $f'_s = 450 \text{ Mpa}$

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$= \frac{3421,1944 \times 410 - 261,3 \times 450}{0,85 \times 30 \times 200}$$

$$= 251,98 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times (d - \frac{a}{2}) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (3421,1944 \times 200 - 261,3 \times 450) \times (520 - \frac{251,98}{2}) + 261,33 \times 450 \times (520 - 60)$$

$$\begin{aligned}
 &= 277362605,3 \text{ Nmm} \\
 \phi M_n &= 0,8 \times 277362605,3 \text{ Nmm} \\
 &= 221890084,2 \text{ Nmm} > 98707105 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK!})
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan lapangan :

Perhitungan Balok T

$$\begin{aligned}
 be_1 &= \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 540 = 135 \text{ cm} \\
 be_1 &= bw \times 16t = 20 + 16 \times 15 = 260 \text{ cm} \\
 be_1 &= \frac{1}{2} \times (L_b - bw) = \frac{1}{2} \times (540 - 20) = 260 \text{ cm} \\
 b &= be = 140 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan tulangan Lapangan :

$$M_u = + 53751393,85 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta) M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 53751393,85}{0,8 \times 200 \times 520^2} = 0,994$$

$$\begin{aligned}
 \rho \delta &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 0,994}{410}} \right) \\
 &= 0,00247
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho' &= \frac{\delta M_n}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\
 &= \frac{0,4 \times 53751393,85}{0,8 \cdot 410 \cdot (520 - 60') \cdot 200 \cdot 520} \\
 &= 0,00137
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \delta + \rho' \\
 &= 0,00247 + 0,00137 \\
 &= 0,00384
 \end{aligned}$$

Karena, $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,00384$.

Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{Perlu}}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,00384 \times 200 \times 520
 \end{aligned}$$

$$= 399,36 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur 3D16 ($A_s = 603,186 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} A_s' &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00137 \times 200 \times 520 \\ &= 142,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 2D12 ($A_s = 226,195 \text{ mm}^2$).

Kontrol Kekuatan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{603,186}{200 \times 520} = 0,0058 > \rho_{\min}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{603,186 \times 410}{0,85 \times 200 \times 30} = 48,49 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0,8 \times 603,186 \times 410 \left(520 - \frac{48,49}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 98082651,94 \text{ Nmm} > M_u = 53751393,85 \text{ Nmm} \text{ (OK).}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{603,186}{200 \times 520} = 0,0058$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{142,48}{200 \times 520} = 0,00137$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1 \times d}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,00443 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 60}{410 \times 520} \times \frac{600}{600 - 410}$$

$$0,00443 > 0,0036 \text{ (tulangan tekan sudah leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{(0,00443) \times 410} \times \frac{60}{520} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 226,1724 < f_y \rightarrow \text{(Tulangan dalam kondisi}$$

tekan). Maka diambil $f'_s = f_y = 226,1724 \text{ Mpa}$.

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$= \frac{603,186 \times 410 - 226,195 \times 226,1724}{0,85 \times 30 \times 200}$$

$$= 38,46 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times (d - \frac{a}{2}) + A'_s \times f'_s \times (d - d') \\
&= (603,186 \times 410 - 226,195 \times 226,1724) \times (520 - \frac{38,46}{2}) + \\
&\quad 226,195 \times 226,1724 \times (520 - 60) \\
&= 121757800,7 \text{ Nmm} \\
\phi M_n &= 0,8 \times 121757800,7 \\
&= 97406240,56 \text{ Nmm} > 53751393,85 \text{ Nmm}.
\end{aligned}$$

Cek Balok T Palsu

$$\begin{aligned}
T &= A_s \cdot f_y \\
&= 603,186 \cdot 410 \\
&= 247306,26 \text{ N} \\
C &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot h_f \\
&= 0,85 \cdot 30 \cdot 2000 \cdot 150 \\
&= 7650000 \text{ N}
\end{aligned}$$

Karena $C > T$, maka balok dianggap sebagai balok T palsu yang berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b_e .

$$\begin{aligned}
a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{603,186 \cdot 410}{0,85 \cdot 30 \cdot 2000} \\
&= 4,849 \text{ mm} < t = 150 \text{ mm} \\
\rho_{\text{aktual}} &= \frac{A_s}{b_w \cdot d} \\
&= \frac{603,186}{1800 \cdot 520} \\
&= 0,00064 < \rho_{\text{min}} = 0,0034 \\
\phi M_n &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) \\
&= 0,8 \cdot 603,186 \cdot 410 \cdot (520 - \frac{4,849}{2}) \\
&= 102399728,9 \text{ Nmm} > 53751393,85 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK})
\end{aligned}$$

- Penulangan Geser

Contoh : Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Memanjang Eksterior

$$\text{Balok Induk} = 20/35$$

Pada penulangan geser daerah tumpuan, menggunakan nilai momen tulangan nominal yang terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan tumpuan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$M_{n1} = M_{n2} = 108382356 \text{ Nmm} = 108,382 \text{ kNm}$$

$$L_n = 5,4 \text{ m}$$

$$W_u = 48,849 \text{ kN}$$

$$V_{u_{\text{Tump}}} = \frac{108,382 + 108,382}{5,4} + \frac{48,849 \times 5,4}{2}$$

$$= 172,034 \text{ kN}$$

Daru hasil SAP 2000 v 14 didapatkan $V_u = 114,865 \text{ kN}$. Sehingga nilai V_u yang menentukan ialah $172,034 \text{ kN}$.

Pemasangan Sengkang Daerah Sendi Plastis

$$V_u = 172,034 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{l}{6} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$$

$$= \frac{l}{6} \sqrt{30} \cdot 200 \cdot 520$$

$$= 94938,577 \text{ N}$$

$$= 94,938 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 94,938$$

$$= 71,204 \text{ kN}$$

Sisa besarnya gaya geser rencana yang lain dipikul oleh kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Besarnya gaya geser rencana yang dipikul oleh tulangan geser sebagai berikut :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{172,034}{0,75} - 94,938$$

$$= 134,441 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan geser $2\phi 14 \text{ mm}$ ($A_v = 307,876 \text{ mm}^2$).

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{307,876 \times 200 \times 520}{134441} = 238,165 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 520/4 = 130 \text{ mm}$
- $8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $24\phi = 24 \times 14 = 336 \text{ mm}$
- 300 m

Maka jarak antar maksimum sengkang didaerah sendi plastis $s = 150 \text{ mm}$.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{307,786 \times 410 \times 520}{150} \\ &= 437466,5013 \text{ N} \\ &= 437,466 \text{ kN} \\ \phi V_s &= 0,75 \times 437,466 \\ &= 328,0995 \text{ kN} \\ \Phi(V_c + V_s) &= 71,204 + 328,0995 \\ &= 399,3035 \text{ kN} > 172,034 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Sengkang yang dipasang $2\phi 12 \text{ mm}$ sejarak 100 mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sebagai berikut :

- S_{\max} sepanjang sendi plastis diujung balok $2h = 2 \times 540 = 1080 \text{ mm}$.
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c} \\ &= \frac{2}{3} \times 200 \times 520 \times \sqrt{30} \\ &= 379754,306 \text{ N} \\ &= 379,754 \text{ kN} > 172,034 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sehingga sengkang $2\phi 12-100$ dapat digunakan.

Pemasangan Senggang di Luar Daerah Sendi Plastis

Pemasangan tulangan senggang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1200 mm ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur dengan besar beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

$$V_u = 169,495 \text{ kN} \rightarrow (\text{dari SAP 2000 v.14})$$

Pemasangan tulangan geser untuk SRPMM memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton dengan perumusan sebesar :

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 539 \\ &= 212584,467 \text{ N} \\ &= 212,584 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 212,584 \\ &= 159,438 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi V_c &= 0,5 \times 159,438 \\ &= 79,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s_{\min}} &= 0,75 \times \frac{1}{3} \times b_w \times d \\ &= 0,75 \times \frac{1}{3} \times 400 \times 539 \\ &= 53900 \text{ N} = 53,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_{s_{\min}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{35} \times 400 \times 539 \\ &= 425168,934 \text{ N} = 425,168 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi(V_c + V_{s_{\min}}) &= 159,438 + 53,9 \\ &= 213,338 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi(V_c + V_{s_{\max}}) &= 159,438 + 425,168 \\ &= 584,606 \text{ kN} \end{aligned}$$

$\phi V_c < V_u < \Phi(V_c + V_{s_{\min}})$, digunakan tulangan geser minimum :

$$A_v = \frac{1}{3} \times \frac{b_w \times s}{f_y}$$

Direncanakan tulangan geser $2\phi 12$ mm ($A_v = 226,195$ mm²), maka :

$$S = \frac{3 \cdot f_y \cdot A_v}{b_w} = \frac{3 \times 400 \times 226,195}{400} = 678,585 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 539/4 = 134,75$ mm
- $8 D = 8 \times 25 = 200$ mm
- $24\phi = 24 \times 12 = 288$ mm
- 300 mm

Atau diambil nilai sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3 mengenai batas spasi tulangan geser minimum :

$$S = \frac{d}{3} = \frac{539}{3} = 179,7 \text{ mm}$$

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis $s = 250$ mm.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 400 \times 539}{250} \\ &= 195070,568 \text{ N} \\ &= 195,07 \text{ kN} \\ \phi V_s &= 0,75 \times 195,07 \\ &= 146,30 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi(V_c + V_s) &= 159,438 + 146,30 \\ &= 305,738 \text{ kN} > 169,495 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c} \\ &= \frac{2}{3} \times 400 \times 539 \times \sqrt{35} \\ &= 850337,867 \text{ N} \\ &= 850,38 \text{ kN} > 169,495 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

Sehingga sengkang $2\phi 12$ -250 dapat digunakan.

- Penulangan Geser dan Torsi

Perencanaan geser dan torsi pada SNI 03-2847-2013 bab 11 tentang geser dan puntir, garis besarnya adalah :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$V_u \leq \phi V_n$$

Dimana : V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

V_n = Kuat geser nominal yang ditinjau.

$V_n = V_c + V_s$

Φ = faktor reduksi geser (0,75)

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi didasarkan pada perumusan berikut :

$$T_u \leq \phi T_n$$

Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_y}{s} \cdot \cot \theta$$

Dimana :

Φ = Faktor reduksi geser dan torsi (0,75)

T_n = Kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_{u_{\min}}$)

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = Kuat momen torsi nominal yang disumbang oleh beton.

A_o = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm^2 .

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm^2 .

f_{yv} = Kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

s = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.

$$T_{u_{\min}} = \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left(\frac{A_g^2}{\rho_g} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.6.2.2}$$

Dimana :

ϕ = faktor reduksi kekuatan

f_c' = kuat tekan beton (Mpa)

A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (Mpa).

P_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm).

Contoh Perhitungan Penulangan Torsi

Balok Induk = 40/60

Tu = 6509946,56 Nmm

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5. 2.1 karena balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi momen puntir, maka momen puntir terfaktor maksimum dapat dikurangi menjadi :

$$Tu < \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.5. 2.2}$$

$$Tu < \frac{0,75 \cdot \sqrt{35}}{3} \cdot \left(\frac{(400 \times 600)^2}{2 \times (400 + 600)} \right)$$

$$6509946,56 \text{ Nmm} < 42595774,44 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan hanya dilakukan perhitungan geser saja.

Kontrol Lendutan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5.(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

- a. Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{L}{16}$$

- b. Balok dengan satu ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5}$$

- c. Balok dengan dua ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{21}$$

Lendutan tidak perlu dihitung, sebab sejak dari preliminary design sudah direncanakan agar tinggi dari masing-masing type balok lebih besar dari persyaratan h_{\min} .

Kontrol Retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa sehingga mampu membatasi retak lentur yang terjadi. Apabila tegangan leleh rencana (f_y) untuk tulangan tarik melebihi 300 Mpa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus harus diproporsikan sedemikian hingga nilai Z yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A} \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 pasal 12.6.4}$$

Z tidak boleh melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan.

Dimana :

F_s = Tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, f_s dapat diambil 0,6 f_y .

D_c = Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan.

$$= \text{decking} + \phi \text{senggang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tul. utama}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (dalam hal ini diambil selebar 1m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1m tersebut.

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

Dimana :

n = jumlah batang tulangan per lebar balok b

Untuk daerah lapangan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d_c}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{3} = 16666,667 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 16666,667} \\ = 24328,808 \text{ N/mm} = 24,33 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

Untuk daerah tumpuan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot dx}{n}$$

$$A = \frac{400 \times 2 \times 62,5}{9} = 5555,556 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{62,5 \cdot 5555,556} \\ = 16868,654 \text{ N/mm} = 16,87 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

• Balok Memanjang Interior

- $M_{\text{Tumpuan}} = - 87542741 \text{ Nmm}$
- $M_{\text{Lapangan}} = + 43771370 \text{ Nmm}$
- $dx = 380 \text{ mm}$

Perhitungan tulangan tumpuan :

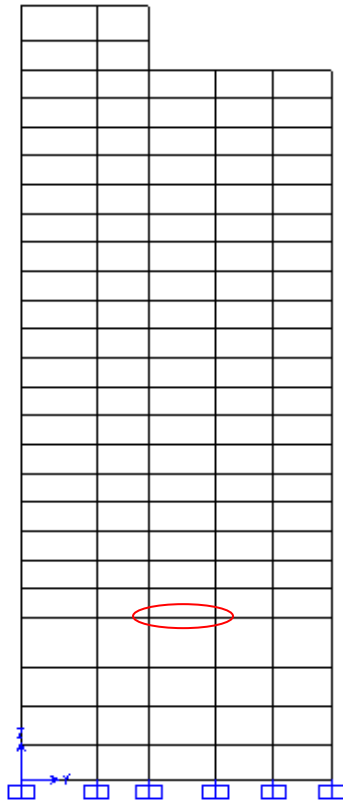
$$M_u = - 87542741 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,4$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta)M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,4) \times 87542741}{0,8 \times 300 \times 380^2} = 1,51563$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 1,51563}{410}} \right) \\ = 0,00381$$

$$\rho' = \frac{\delta M_n}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ = \frac{0,4 \times 97542741}{0,8 \cdot 410 \cdot (380 - 60) \cdot 300 \cdot 380} \\ = 0,00326$$



Gambar 7.6. Letak balok memanjang Interior

$$\begin{aligned}
 P &= \rho\delta + \rho' \\
 &= 0,00381 + 0,00326 \\
 &= 0,00707
 \end{aligned}$$

Karena, $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0034 < 0,0707 < 0,02355 \rightarrow (\text{OK!})$, maka digunakan

$\rho_{\text{pakai}} = 0,0707$. Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0707 \times 300 \times 380 \\ &= 805,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 6D16 ($A_s = 1206,372 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} A_{s'} &= \rho' \times b \times d \\ &= 0,00326 \times 300 \times 380 \\ &= 371,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 4D12 ($A_s = 452,389 \text{ mm}^2$).

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1206,372}{300 \times 380} = 0,0106 > \rho_{\min} \\ a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{1206,372 \times 410}{0,85 \times 300 \times 30} = 64,655 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0,8 \times 1206,372 \times 410 \left(380 - \frac{64,655}{2} \right) \\ \phi M_n &= 137570537,1 \text{ Nmm} > M_u = 87542741 \text{ Nmm} \\ &(\text{OK}). \end{aligned}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1206,372}{300 \times 380} = 0,0106 \\ \rho' &= \frac{A_{s'}}{b \times d} = \frac{371,64}{300 \times 380} = 0,00326 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho - \rho' &\geq \frac{0,85 \times f'_c \times \frac{600}{f_y \times d}}{\frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 60}{410 \times 380} \times \frac{600}{600 - 410}} \\ 0,00734 &\geq 0,00496 \text{ (tulangan tekan belum leleh)} \end{aligned}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{(0,00734) \times 410} \times \frac{60}{380} \right| \leq f_y$$

$f'_s = 82,336 \leq f_y \rightarrow$ (Tulangan masih dalam kondisi tekan).

Diambil $f'_s = 82,336 \text{ Mpa}$

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_{s'} \times f'_s}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{1206,372 \times 300 - 371,64 \times 82,336}{0,85 \times 30 \times 300}$$

$$= 43,309 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times (d - \frac{a}{2}) + A'_s \times f'_s \times (d - d') \\ &= (1206,372 \times 410 - 371,64 \times 82,336) \times (380 - \frac{64,655}{2}) \\ &\quad + 1206,372 \times 371,64 \times (380 - 60) \\ &= 304792167,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,8 \times 304792167,3 \text{ Nmm} \\ &= 243833733,8 \text{ Nmm} > 87542741 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK!}) \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan lapangan :

Perhitungan Balok T

$$be_1 = \frac{l}{4} \times L_b = \frac{l}{4} \times 690 = 172,5 \text{ cm}$$

$$be_1 = bw \times 16t = 30 + 16 \times 15 = 270 \text{ cm}$$

$$be_1 = \frac{l}{2} \times (L_b - bw) = \frac{l}{2} \times (690 - 30) = 330 \text{ cm}$$

$$b = be = 180 \text{ cm}$$

Contoh perhitungan tulangan Lapangan :

$$M_u = + 43771370 \text{ Nmm}$$

$$\delta = 0,2$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta) M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{(1 - 0,2) \times 43771370}{0,8 \times 300 \times 380^2} = 1,0104$$

$$\begin{aligned} \rho \delta &= \frac{l}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{l}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 1,0104}{410}} \right) \\ &= 0,00252 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{\delta M_n}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} \\ &= \frac{0,4 \times 43771370}{0,8 \cdot 410 \cdot (380 - 60) \cdot 300 \cdot 380} \\ &= 0,00146 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \rho\delta + \rho' \\ &= 0,00252 + 0,00146 \\ &= 0,00398\end{aligned}$$

Karena, $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka digunakan $\rho_{\text{pakai}} = 0,00398$.
Sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{s\text{Perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00398 \times 300 \times 380 \\ &= 453,72 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 3D16 ($A_s = 603,186 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}A_{s'} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00146 \times 300 \times 380 \\ &= 166,44 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan Tulangan tekan 2D14 ($A_s = 307,876 \text{ mm}^2$).

Kontrol Kekuatan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{603,186}{300 \times 380} = 0,00529 > \rho_{\min} \\ a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{603,186 \times 410}{0,85 \times 300 \times 30} = 32,328 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0,8 \times 603,186 \times 410 \left(380 - \frac{32,328}{2} \right) \\ \phi M_n &= 71983136,33 \text{ Nmm} > M_u = 43771370 \text{ Nmm} \\ &\text{(OK)}.\end{aligned}$$

Kontrol Tulangan Rangkap :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{603,186}{300 \times 380} = 0,00529 \\ \rho' &= \frac{A_{s'}}{b_w \times d} = \frac{166,44}{300 \times 380} = 0,00146 \\ \rho - \rho' &\geq \frac{0,85 \times f'_c \times \frac{b_w \times d}{4} \times \frac{600}{600 - f_y}}{\frac{f_y \times d}{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 60} \times \frac{600}{600 - 410}} \\ 0,00383 &\geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 60}{410 \times 380} \times \frac{600}{600 - 410} \\ 0,00383 &< 0,00496 \text{ (tulangan tekan belum leleh)} \\ f'_s &= 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \rho \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y \\ f'_s &= 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{(0,00383) \times 410} \times \frac{60}{380} \right| \leq f_y\end{aligned}$$

$f's = 707,662 > f_y \rightarrow$ (Tulangan tekan dalam kondisi tarik). Maka diambil $f's = f_y = 410$ Mpa.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f's}{0,85 \times f'c \times b_w} \\ &= \frac{603,186 \times 410 - 307,876 \times 410}{0,85 \times 30 \times 300} \\ &= 15,827 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (A_s \times f_y - A'_s \times f's) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \times f's \times (d - d') \\ &= (603,186 \times 410 - 307,87 \times 410) \times \left(380 - \frac{15,827}{2}\right) + \\ &\quad 307,876 \times 410 \times (380 - 60) \\ &= 85445400,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,8 \times 85445400,9 \\ &= 68356320,72 \text{ Nmm} > 43771370 \text{ Nmm}. \end{aligned}$$

Cek Balok T Palsu

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 603,186 \cdot 410 \\ &= 247306,26 \text{ N} \\ C &= 0,85 \cdot f'c \cdot b_e \cdot h_f \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 3000 \cdot 150 \\ &= 11475000 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena $C > T$, maka balok dianggap sebagai balok T palsu yang berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar be.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b_e} = \frac{603,186 \times 410}{0,85 \times 30 \times 3000} \\ &= 3,233 \text{ mm} < t = 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{aktual}} &= \frac{A_s}{b_w \times d} \\ &= \frac{603,186}{1800 \times 380} \\ &= 0,000882 < \rho_{\text{min}} = 0,0034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,8 \cdot 603,186 \cdot 410 \cdot \left(380 - \frac{3,233}{2}\right) \\ &= 74861286,58 \text{ Nmm} > 43771370 \text{ Nmm} \rightarrow (\text{OK}). \end{aligned}$$

- Penulangan Geser

Contoh : Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Memanjang Interior

$$\text{Balok Induk} = 30/45$$

Pada penulangan geser daerah tumpuan, menggunakan nilai momen tulangan nominal yang terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan tumpuan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Contoh perhitungannya sebagai berikut :

$$Mn_1 = Mn_2 = 108382356 \text{ Nmm} = 108,382 \text{ kNm}$$

$$L_n = 6,9 \text{ m}$$

$$W_u = 85,975 \text{ kN}$$

$$Vu_{\text{Tump}} = \frac{108,382 + 108,382}{6,9} + \frac{85,975 \times 6,9}{2}$$

$$= 328,029 \text{ kN}$$

Daru hasil SAP 2000 v 14 didapatkan $V_u = 76,124 \text{ kN}$. Sehingga nilai V_u yang menentukan ialah 328,029 kN.

Pemasangan Sengkang Daerah Sendi Plastis

$$V_u = 328,029 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 300 \cdot 380$$

$$= 104067,286 \text{ N}$$

$$= 104,067 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 104,067$$

$$= 78,05 \text{ kN}$$

Sisa besarnya gaya geser rencana yang lain dipikul oleh kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. Besarnya gaya geser rencana yang dipikul oleh tulangan geser sebagai berikut :

$$V_s = \frac{Vu}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{328,029}{0,75} - 104,067$$

$$= 333,305 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan geser $2\phi 12$ mm ($A_v = 226,195$ mm²).

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{226,195 \times 410 \times 380}{333305} = 105,732 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan jarak antar sengkang untuk daerah sendi plastis berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 tidak boleh lebih dari :

- $d/4 = 380/4 = 95$ mm
- $8 D = 8 \times 25 = 200$ mm
- $24\phi = 24 \times 12 = 288$ mm
- 300 mm

Atau diambil nilai sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.5 mengenai batas spasi tulangan geser minimum :

$$S = \frac{d}{3} = \frac{380}{2} = 100 \text{ mm}$$

Maka jarak antar maksimum sengkang di daerah luar sendi plastis $s = 200$ mm.

Sehingga nilai kuat geser diperoleh :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 410 \times 380}{100}$$

$$= 352411,81 \text{ N}$$

$$= 352,412 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 352,412$$

$$= 264,309 \text{ kN}$$

$$\Phi(V_c + V_s) = 78,05 + 264,309$$

$$= 342,359 \text{ kN} > 328,029 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Kontrol kuat geser balok induk tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'c}$$

$$= \frac{2}{3} \times 300 \times 380 \times \sqrt{30}$$

$$= 416269,144 \text{ N}$$

$$= 416,269 \text{ kN} > 328,029 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

Sehingga sengkang $2\phi 12-100$ dapat digunakan.

- Penulangan Torsi

Perencanaan torsi pada SNI 03-2847-2013 bab 11 tentang geser dan puntir, garis besarnya adalah :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$V_u \pm \phi V_n$$

Dimana : V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

V_n = Kuat geser nominal yang ditinjau.

$V_n = V_c + V_s$

Φ = faktor reduksi geser (0,75)

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi didasarkan pada perumusan berikut :

$$T_u \pm \phi T_n$$

Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_y}{s} \cdot \cot \theta$$

Dimana :

Φ = Faktor reduksi geser dan torsi (0,75)

T_n = Kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_{u_{min}}$)

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = Kuat momen torsi nominal yang disumbang oleh beton.

A_o = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm^2 .

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm^2 .

f_{yv} = Kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

s = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.

$$T_{u_{min}} = \frac{\phi \sqrt{f_c}}{3} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{\rho_p} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1}$$

Dimana :

ϕ = faktor reduksi kekuatan

f_c' = kuat tekan beton (Mpa)

A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (Mpa).

P_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm).

Contoh Perhitungan Penulangan Torsi

Balok Induk = 30/45

T_u = 3465496,29 Nmm

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.1 karena balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi momen puntir, maka momen puntir terfaktor maksimum dapat dikurangi menjadi :

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left(\frac{A_{\phi}^2}{P_{\phi}} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.5. 2.2}$$

$$T_u < \frac{0,75 \cdot \sqrt{30}}{3} \cdot \left(\frac{(300 \times 450)^2}{2 \times (300+450)} \right)$$

$$16637072,68 \text{ Nmm} < 3465496,29 \text{ Nmm}$$

Jadi torsi dapat diabaikan dan hanya dilakukan perhitungan geser saja.

Contoh Perhitungan Penulangan Geser

Balok Induk = 30/45

Daerah Tumpuan :

$$V_{u_{\text{Tump}}} = 328,029 \text{ kN}$$

$$d = h - \text{decking} - \text{tul.senggang} - \frac{1}{2} \text{tul lentur}$$

$$= 450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25$$

$$= 387,5 \text{ mm}$$

$$V_u = 328029 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 300 \cdot 380$$

$$= 104067,286 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \times 104067,286 \\ &= 78050,465 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0,5 \cdot \phi V_c &= 0,5 \times 78050,465 \\ &= 39025,2324 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_{s_{\min}} &= 0,75 \times \frac{l}{3} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,75 \times \frac{l}{3} \times 300 \times 380 \\ &= 28500 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_{s_{\max}} &= \frac{l}{3} \sqrt{f'c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{l}{3} \sqrt{30} \cdot 350 \cdot 380 \\ &= 242823,667 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi(V_c + V_{s_{\min}}) &= 78050,465 + 28500 \\ &= 106550,465 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi(V_c + V_{s_{\max}}) &= 78050,465 + 242823,667 \\ &= 320874,132 \text{ N}\end{aligned}$$

Karena $\phi V_c < V_u \leq \Phi(V_c + V_{s_{\min}})$, maka digunakan tulangan geser minimum, maka harus dihitung sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.6.1

$$\begin{aligned}A_v &= 2\emptyset 10 \\ &= 2 \times \frac{l}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{3 \times A_v \times f_y}{b_w} \\ &= \frac{3 \times 157,08 \times 410}{350} \\ &= 552,024 \text{ mm}\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 23.3.3.2, jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi :

$$S \leq d/2 = 380/2 = 190 \text{ mm}$$

$$S \leq 8 D = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$S \leq 24\emptyset = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ m}$$

Sehingga dipasang tulangan geser $\emptyset 10$ -200.

Kontrol Lendutan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

- d. Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{L}{16}$$

- e. Balok dengan satu ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5}$$

- f. Balok dengan dua ujung menerus

$$h_{\min} = \frac{L}{21}$$

Lendutan tidak perlu dihitung, sebab sejak dari preliminary design sudah direncanakan agar tinggi dari masing-masing type balok lebih besar dari persyaratan h_{\min} .

Kontrol Retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa sehingga mampu membatasi retak lentur yang terjadi. Apabila tegangan leleh rencana (f_y) untuk tulangan tarik melebihi 300 Mpa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus harus diproporsikan sedemikian hingga nilai Z yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d^2 \cdot A} \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 pasal 10.6}$$

Z tidak boleh melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan.

Dimana :

F_s = Tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, f_s dapat diambil 0,6 f_y .

D_c = Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan.

$$= \text{decking} + \phi \text{sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tul. utama}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (dalam hal ini diambil selebar 1m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1m tersebut.

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d}{n}$$

Dimana :

n = jumlah batang tulangan per lebar balok b

Untuk daerah lapangan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d}{n}$$

$$A = \frac{350 \times 2 \times 60}{3} = 14000 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{60 \cdot 14000}$$

$$= 22644,93 \text{ N/mm} = 22,645 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

Untuk daerah tumpuan:

$$A = \frac{b \cdot 2 \cdot d}{n}$$

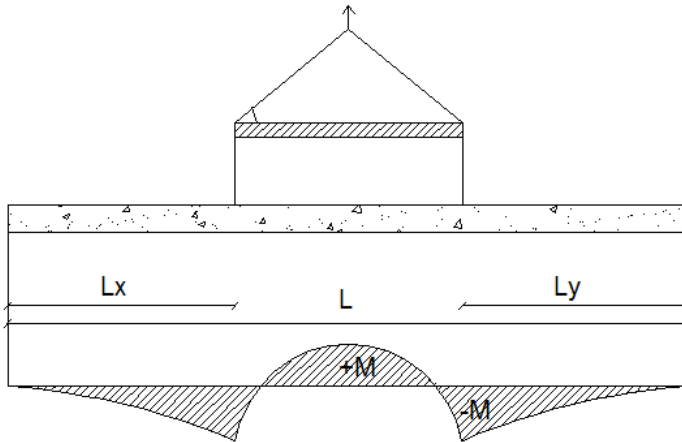
$$A = \frac{350 \times 2 \times 60}{8} = 5250 \text{ mm}^2$$

$$Z = 240 \times \sqrt[3]{60 \cdot 5250}$$

$$= 11681,54 \text{ N/mm} = 11,681 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \rightarrow (\text{OK})$$

7.1.2. Pengangkatan Elemen Balok

Balok anak diproduksi secara pracetak, sehingga perlu dikontrol pada saat pengangkatan.



Gambar 7.7. Pengangkatan balok pracetak

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4x + \frac{4Y_c}{L \cdot \tan \theta} \right)$$

$$-M = \frac{W \cdot X^2 \cdot L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \cdot \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_a}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \cdot \tan \theta} \right)} \right)}$$

Diketahui : balok anak 30/40 dengan bentang 540 cm

$$Y_a = Y_b = \frac{40-15}{2} = 12,5 \text{ cm}$$

$$Y_c = Y_a + 5 = 17,5 \text{ cm}$$

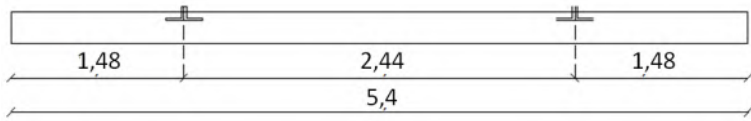
Maka :

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 17,5}{540 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{12,5}{12,5} \left(1 + \frac{4 \times 17,5}{540 \times \tan 45^\circ} \right)} \right)}$$

$$= 0,2738044$$

$$X \cdot L = 0,2738044 \times 540 = 147,854 \text{ cm} = 1,48 \text{ m}$$

$$L-2(X.L) = 5,4 - 2 \times 1,48 = 2,44 \text{ m}$$



Gambar 7.8. Jarak tulangan angkat

Data – data profil baja :

- Panjang tekuk = 388,8 cm
- Mutu baja BJ 36
- Profil WF 100 x 100 x 6 x 8
 - $A = 21,9 \text{ cm}^2$ $i_s = 4,18 \text{ cm}$
 - $i_y = 2,47 \text{ cm}$ $w = 17,2 \text{ kg/m}$

Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Balok} &= 0,4 \times 0,6 \times 5,4 \times 2400 = 3110,4 \text{ kg} \\ \text{Balok profil} &= 17,2 \times 5,4 = \underline{92,88 \text{ kg}} \\ &= 3203,28 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T \sin \square = P &= \frac{1,2 \times k \times M}{\frac{1,2 \times 1,2 \times 3203,28}{2}} \\ &= \frac{2306,3616}{2} \\ &= 2306,3616 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T = \frac{2306,3616}{\sin 45^\circ} = 3261,688 \text{ kg.}$$

Tulangan Angkat Balok Melintang

$$P_u = 3261,688 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2 tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 400 \text{ Mpa}$ adalah $\frac{f_y}{1,5}$.

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{4000}{1,5} = 2666,67 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{tarik ijin}} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{3261,688}{2666,67 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,72 \text{ cm.}$$

Digunakan tulangan Ø 10 mm

Momen yang terjadi :

- Pembebanan

$$\text{Balok} = 0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok Profil} &= 17,2 \\ &= \underline{17,2 \text{ kg/m}} \\ &= 305,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan suatu faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2.

- Momen Lapangan

$$\begin{aligned} +M &= \frac{wL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Yc}{L \cdot \tan \theta} \right) \times 1,2 \\ &= \left(\frac{305,2 \times 5,4^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,27384 + \frac{4 \times 0,175}{5,4 \cdot \tan 45} \right) \right) \times 1,2 \\ &= 457,8 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

$$\begin{aligned} f &= \frac{M}{Wt} = \frac{971,775 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 400 \times 460^2} \\ &= 0,68 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f'c} = 4,14 \text{ MPa} \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Momen Tumpuan

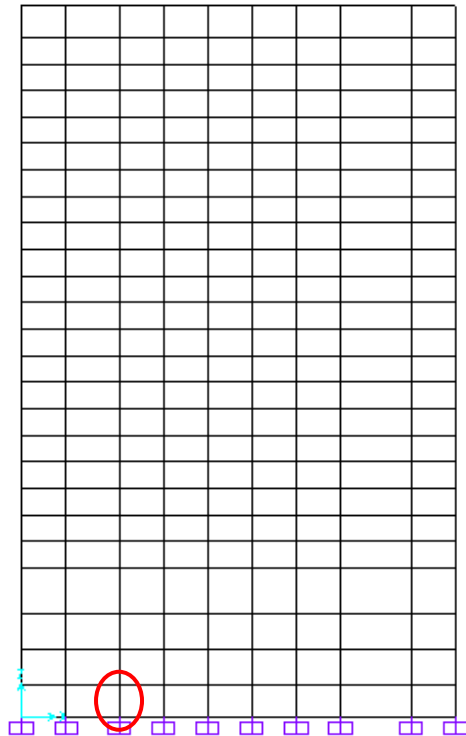
$$\begin{aligned} -M &= \left(\frac{wX^2L^2}{2} \right) \times 1,2 \\ &= \left(\frac{569,2 \cdot 0,234^2 \cdot 7,2^2}{2} \right) \times 1,2 \\ &= 969,422 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

$$\begin{aligned} f &= \frac{M}{Wt} = \frac{969,422 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 400 \times 460^2} \\ &= 0,687 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f'c} = 4,14 \text{ MPa} \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan f' akibat momen positif maupun momen negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ pada usia beton 3 hari. Jadi dapat disimpulkan, balok induk tersebut aman dalam menerima tegangan yang diakibatkan dari proses *erection* atau pengangkatan.

7.2 Perencanaan Kolom



Gambar 7.9. Letak kolom tertinjau

Pada perencanaan Tugas akhir ini, kolom yang akan direncanakan diambil yang memiliki gaya aksial terbesar. pada kasus ini gaya aksial terbesar pada kolom eksterior terjadi di as C/2. Berikut adalah data perencanaan kolom tersebut :

- Mutu Beton : 30 MPa
- Mutu Baja : 410 Mpa
- Dimensi Kolom : 190/190 cm
- Tebal decking : 60 mm

- Diameter tul. Utama((D) : 25 mm
- Diameter tul sengkang : 12 mm
- $d = h - c_c - \phi - \frac{1}{2}D$
 $= 1900 - 60 - 12 - 12,5$
 $= 1815,5 \text{ mm}$

Dengan menggunakan software SAP 2000 v14.0.0 diperoleh besarnya gaya pada kolom atas sebesar :

$$Mu = 1456,81 \text{ kNm}$$

$$Pu = 10049,098 \text{ kN}$$

$$Vu = 222,638 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 23.10.2 jika komponen struktur SRPMM memenuhi gaya aksial tekan terfaktor $\geq Ag \times \frac{f_c}{10}$ maka harus memenuhi ketentuan pasal 23.10.4, didapatkan gaya aksial tekan terfaktor terbesar sebesar 10049,098 kN.

$$10049,098 \text{ kN} \geq 1100 \times 1100 \times \frac{30}{10}$$

$$10049,098 \text{ kN} \geq 3630000 \text{ N} = 3630 \text{ kN} \rightarrow (\text{OK})$$

a. Penulangan Memanjang

Kolom yang direncanakan dihitung menggunakan *software* bantu yaitu *spColumn* dengan menggunakan prosentase kolom yang sesuai dengan syarat SNI 03-2847-2013 pasal 13.4.2.2 yaitu sebesar 1%-6% dengan memberikan tulangan 32D22.

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisis truktur.

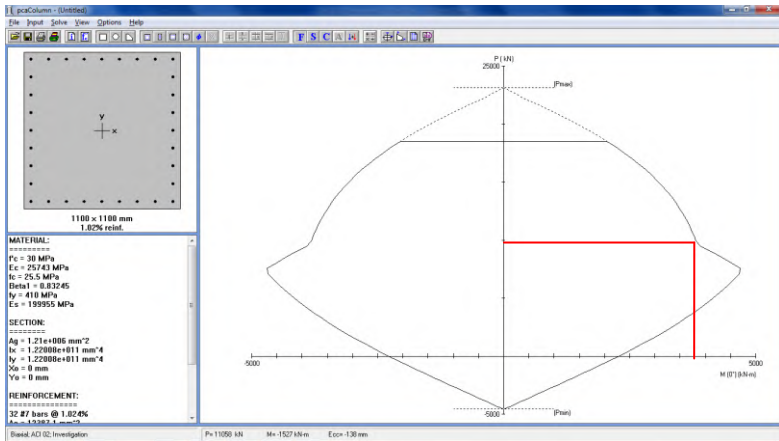
$$\begin{aligned}\phi P_{n \max} &= 0,8 \times \phi \times 0,85 [0,85 \times f'c \times (Ag - Ast) + fy \times Ast] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 0,85 [0,85 \times 30 \times (1210000 - 12164,247) + \\ &\quad 410 \times 12164,247] \\ &= 15705211,61 \text{ N} \\ &= 15705,211 \text{ kN} > 10049,098 \text{ kN}\end{aligned}$$

Jadi 24D25 dapat digunakan.

b. Persyaratan Terhadap Gaya Geser

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 23.10.3, gaya geser rencana (V_e) pada komponen struktur tidak boleh kurang dari :

- Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinyakuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.



Gambar 7.10. Diagram interaksi kolom

Dari gambar diagram interaksi kolom diatas didapatkan momen nominal kolom sebesar 3835 kNm, $M_{nl} = M_{nt} = 3835 \text{ kNm}$.

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \\
 &= \frac{3835 + 3835}{3,65} \\
 &= 2101,37 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Besarnya gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi bban dengan pengaruh nilai beban gempa dengan kombinasi terbesar dari aplikasi SAP 2000 v14, didapatkan gaya geser sebesar 198,93 kN.

Maka diambil gaya geser terbesar dari kedua perhitungan diatas, sebesar 222,638 kN

c. Pengekangan Kolom pada Daerah Sendi Plastis

Panjang pengekangan kolom di daerah sendi plastis menurut SNI 03-2847-2013 pasal 23.10.4.1 adalah :

- Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang l , dari muka hubungan balok – kolom adalah s_o . Spasi s_o tersebut tidak boleh melebihi :
 - Delapan kali diameter tulangan *longitudinal* terkecil.
 - 24 kali diameter sengkang ikat
 - Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,
 - 300 mm
 - Panjang l_o harus lebih besar dari :
 - Seperenam tinggi bersih kolom = $3650/6 = 608,333$
 - Dimensi terbesar penampang kolom = 1100 mm
 - 500mm

Maka digunakan panjang sendi plastis sebesar 1100 mm.

Kekuatan geser yang disumbangkan beton untuk komponen kolom sebesar :

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot b_w \cdot d \\
 &= \left(1 + \frac{1310434,32}{14 \times 1210000}\right) \cdot \frac{\sqrt{30}}{6} \cdot 400 \cdot 1087 \\
 &= 427620,691 \text{ kg} \\
 &= 427,62 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dimana :

- V_c = kuat geser yang disumbangkan beton
- N_u = beban aksial terfaktor yang diterima struktur
- A_g = Luas kolom tanpa rongga
- f'_c = Mutu beton dalam Mpa

Cek persyaratan kebutuhan penulangan geser :

$$0,5\phi V_c < V_u < \phi V_c$$

$$0,5 \times 0,75 \times 427,62 < 222,638 < 0,75 \times 427,62$$

$$160,31 < 222,638 < 320,715 \rightarrow (\text{OK})$$

Sehingga digunakan tulangan geser minimum dengan nilai sebesar :

$$\begin{aligned} V_{s \text{ perlu}} &= \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{30} \times 400 \times 1087 \\ &= 793832,56 \text{ N} \\ &= 793,833 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan geser 2 ϕ 12-100 mm dengan nilai $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$.

$$\begin{aligned} V_{s \text{ pakai}} &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{226,195 \times 410 \times 1087}{100} \\ &= 1008083,257 \text{ N} \\ &= 1008,083 \text{ kN} > V_{s \text{ perlu}} = 778,6 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Tulangan Transversal Maksimum Kolom

Spasi maksimum sengkang ikat pada rentang l_0 dari muka hubungan balok kolom adalah s_o . Spasi tersebut tidak boleh melebihi :

- Delapan kali diameter tulangan *longitudinal* terkecil.
 $S < 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- 24 kali diameter sengkang ikat
 $S < 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$
- Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,
 $S < 0,5 \times 1100 = 550 \text{ mm}$
- 300 mm

Sehingga dipakai tulangan sengkang 2 ϕ 12-200 di daerah sendi plastis dapat digunakan.

Sengkang pertama harus dipasang tidak melebihi 0,5 muka HBK, yaitu sebesar $0,5 \times 200 = 100 \text{ mm}$.

7.3 Perencanaan HBK

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.4, tulangan hubungan balok kolom untuk struktur SRPMM harus memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.6 dimana pada sambungan elemen portal ke kolom harus disediakan tulangan lateral dengan luas yang tidak kurang dari :

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f_y}}{1200} x \frac{b_w S}{f_y}$$

Dimana A_v tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= \frac{1}{3} x \frac{b_w S}{f_y} \\ &= \frac{1}{3} x \frac{1010 x 100}{410} \\ &= 82,114 \text{ mm}^2 \\ A_v &= \frac{75 \sqrt{f'_c}}{1200} x \frac{b_w x S}{f_y} \\ &= \frac{75 \sqrt{30}}{1200} x \frac{1010 x 100}{410} \\ &= 84,329 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga cukup digunakan $2\phi 12 - 100$ ($A_v = 226,195 \text{ mm}^2$) untuk dipasang di dalam Hubungan Balok Kolom.

BAB VIII

PERENCANAAN SAMBUNGAN

8.1 Umum

Pada perencanaan gedung apartemen *Gunawangsa MERR* ini, didesain dengan menggunakan metode sambungan basah. Sambungan basah memiliki kemudahan dalam pelaksanaannya apabila dibandingkan dengan sambungan kering yang menggunakan *mechanical connection* dan *welding connection*.

Untuk sambungan basah di daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran serta sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan untuk geser friksi. Geser friksi adalah geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat tersebut dapat bersifat monolit yang memiliki kesatuan integritas struktur.

Sambungan yang direncanakan ini berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain yang disebutkan diatas, sambungan juga digunakan untuk mendapatkan kestabilan struktur.

Dalam pelaksanaannya, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain hal tersebut, perlu juga ditinjau dari segi *seviceability*, kekuatan, serta produksinya. Faktor kekuatan yang ada pada sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban tersebut berupa beban gravitasi yang berupa beban mati dan beban hidup maupun berat sendiri struktur, beban gempa, serta kombinasi-kombinasi pembebanan tersebut.

Sambungan antar elemen beton pracetak harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan serta dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang telah disyaratkan.

8.2 Desain Sambungan

8.2.1. Klasifikasi Sistem dan Sambungan

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambungan.

a. Lokasi Penyambungan

Portal daktil dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau letak sendi daktilnya. Untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristiknya, digunakan istilah sebagai berikut :

- Lokasi sendi plastis
- *Sendi*, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi.
- *Strong*, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar.
- *Daktil*, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktil dan berfungsi sebagai pemancar energi.

b. Jenis Alat Penyambungan

- Sambungan-sambungan mekanik.
- *Cold joint* yang diberi tulangan.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana *joint* digROUT.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana *joint* tidak digROUT.
- *Shell* pracetak dengan bagian intinya di cor beton setempat.

8.2.2 Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada

setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Pemindahan beban diteruskan ke kolom dengan melalui tahapan sebagai berikut :

- a. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser.
- b. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*.
- c. *Haunch* menyerap gaya vertikal dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
- d. Gaya geser vertikal dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.
- e. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Balok beton ke tulangan dengan lekatan/ikatan.
- b. Tulangan baja siku di ujung balok diikat dengan las.
- c. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
- d. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
- e. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan/lekatan.

8.2.3 Stabilitas dan Keseimbangan

Pada perencanaan struktur beton pracetak biasanya memiliki permasalahan yang utama yaitu disebabkan oleh kesalahan perencanaan dan keseimbangan dari struktur dan komponen-komponennya, bukan hanya pada saat struktur telah terpasang ataupun juga pada saat fase pelaksanaan konstruksi. Sebagai contoh balok induk yang memiliki eksentrisitas beban pada balok akan terjadi torsi dan belok cenderung berputar pada

perletakan. Jadi perencanaan perlu memperhatikan serta perlu memperhitungkan kondisi pada saat pemasangan.

8.2.4 Pola-pola Kehancuran

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing-masing pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. PCI Design Handbook memberikan lima pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan dapped-end dari balok, yaitu sebagai berikut :

- a. Lentur dan gaya tarik aksial pada ujung.
- b. Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung.
- c. Geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok.
- d. Tarik diagonal pada ujung akhir
- e. Perletakan pada ujung atau tonjolan

Pada perencanaan ulang ini, digunakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian kekuatan penyambungan sebelum komposit agar dapat mencapai struktur yang monolit.

8.3 Topping Beton

Penggunaan topping beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. Tujuan utama adalah :

- a. Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan.
- b. Menjamin lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
- c. Agar distribusi beban hidup vertikal antar komponen pracetak lebih merata

Tebal topping beton pada umumnya berkisar antara 5 cm hingga 10 cm.

Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan

baik selama tegangan horizontal yang timbul tidak melampaui $5,50 \text{ kg/cm}^2$. Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka topping beton tersebut tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit, melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak.

Kebutuhan baja tulangan pada topping dalam menampung geser horisontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*). Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.11.9.3, adalah

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} \geq A_{vf \text{ min}}$$

dimana :

A_{vf} = Luas tulangan geser friksi

V_n = Luas geser nominal $< 0,2 \cdot f_c \cdot A_c \rightarrow$ (Newton)

$< 5,5 A_c \rightarrow$ (Newton)

A_c = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser.

f_y = kuat leleh tulangan

μ = koefisien friksi (1)

$A_{vf \text{ min}} = 0,018 A_c \rightarrow$ untuk baja tulangan mutu 400 Mpa

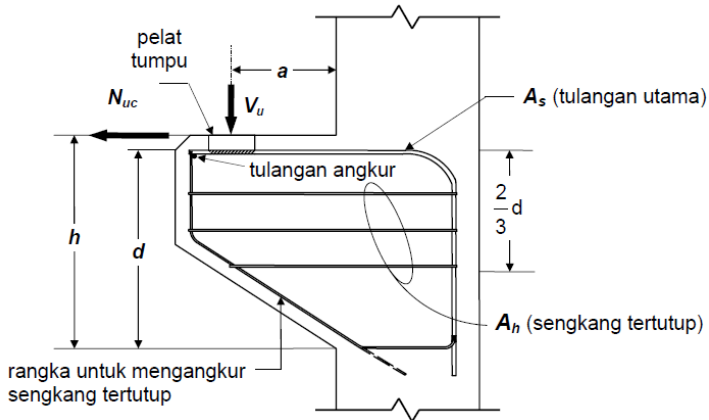
$= 0,0018 \frac{400}{f_y} \times A_c \rightarrow$ untuk tulangan $f_y > 400 \text{ Mpa}$

diukur pada tegangan leleh $0,35\%$ = dalam segala hal tidak boleh kurang dari $0,0014 A_c$.

8.4 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

8.4.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antar balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol yang berada pada kolom, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan.



Gambar 8.1. Sistem penulangan konsol pendek
(Sumber = SNI 2847-2013)

Ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut :

- a. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi efektif a/d tidak lebih besar daripada satu, dan memikul gaya tarik horisontal N_{uc} yang tidak lebih besar daripada V_u . Jarak d harus diukur pada muka tumpuan.
- b. Tinggi konsol pada tepi luar daerah tumpuan tidak boleh kurang daripada $0,5d$
- c. Penampang pada muka tumpuan harus direncanakan untuk memikul secara bersamaan suatu geser V_u suatu momen $V_u \cdot a + N_{uc} (h - d)$, dan suatu gaya tarik horisontal N_{uc} .
 1. Didalam semua perhitungan perencanaan yang sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.9, faktor reduksi kekuatan ϕ harus diambil sebesar 0,75

2. Perencanaan tulangan geser friksi A_{vf} untuk memikul geser V_u harus memenuhi ketentuan SNI 03-2847-2002 pasal 13.7 :
 - Untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada $0,2.f'_c.b_w.d$ ataupun $5,5.b_w.d$ (dalam newton).
 - Untuk beton ringan total atau beton ringan pasir, kuat geser V_n tidak boleh diambil melebihi $\left(0,2 - 0,007 \frac{a}{d}\right) f'_c \cdot b_w \cdot d$ ataupun $\left(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}\right) b_w d$ dalam newton.
 - Tulangan A_f untuk menahan momen $[V_u \cdot a + N_{uc}(h - d)]$ harus dihitung menurut SNI 03-2847-2002 pasal 12.2 dan pasal 12.3
3. Tulangan A_n untuk menahan gaya tarik N_{uc} harus ditentukan dari $N_{uc} \leq \phi \cdot A_n \cdot f_y$, gaya tarik N_u tidak boleh diambil kurang daripada $0,2V_u$ kecuali bila digunakan suatu cara khusus untuk mencegah terjadinya gaya tarik. Gaya tarik N_{uc} harus dianggap sebagai suatu beban hidup walaupun gaya tarik tersebut timbul akibat rangkai, susut, ataupun perubahan suhu.
4. Luas tulangan tarik utama A_s harus diambil sama dengan nilai terbesar dari $(A_f + A_n)$ atau $\left(\frac{2 \cdot A_{vf}}{3} + A_n\right)$.
- d. Sengkang tertutup atap atau sengkang ikat yang sejajar dengan A_{s1} dengan luas total A_h yang tidak kurang daripada $0,5 \cdot (A_s - A_n)$, harus disebarakan secara merata dalam rentang batas duapertiga dari tinggi efektif konsol, dan dipasang bersebelahan dengan A_s .
- e. Rasio $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$ tidak boleh diambil kurang dari $0,04 \cdot \frac{f'_c}{f_y}$.
- f. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama A_s harus diangkurkan dengan salah satu cara berikut :
- g. Luas daerah penumpu beban pada konsol pendek tidak boleh melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama

As dan tidak pula melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila dipasang).

Contoh perhitungan :

Dari perhitungan struktur utama sebelum komposit, didapatkan :

$$V_u = 383205,48 \text{ N}$$

Data Perencanaan :

Dimensi balok induk 40/55

Dimensi konsol :

$$\begin{aligned} b_w &= 400 \text{ mm} \\ h &= 550 \text{ mm} \\ d &= 550 - 40 - 25 = 485 \text{ mm} \\ f_c' &= 30 \text{ Mpa} \\ f_y &= 410 \text{ MPa} \\ a &= 250 \text{ mm} \\ \frac{a}{d} &= \frac{250}{485} = 0,515 < 1 \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$V_n = \frac{383205,48}{0,6} = 638675,8 \text{ N}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.2 syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah :

$$0,2 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d = 0,2 \times 30 \times 400 \times 485 = 1164000 \text{ N} > V_n \rightarrow (\text{OK})$$

$$5,5 \cdot b_w \cdot d = 5,5 \times 400 \times 485 = 1067000 \text{ N} > V_n \rightarrow (\text{OK})$$

Luas tulangan geser friksi :

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal maka nilai koefisien gesek $\mu = 1,4$.

$$\begin{aligned}
 A_{vf} &= \frac{Vn}{f_y \cdot \mu} \\
 &= \frac{638675,8}{410 \cdot 1,4} \\
 &= 1112,675 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur :

Perletakan yang digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horisontal, maka gaya horisontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 akan digunakan N_{uc} minimum :

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u = 0,2 \times 383205,48 = 76641,096 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= V_u \cdot a + N_{uc} \cdot (h-d) \\
 &= 383205,48 \times 250 + 76641,096 \times (550-485) \\
 &= 100783041,2 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,8 \times 30}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right) = 0,02956$$

Seusai SNI 03-2847-2013 psl 10.3 :

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,02956 = 0,02217$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,0034$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{30}}{410} = 0,00334$$

ρ_{\min} dipilih yang terbesar yaitu 0,0034.

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'}} = \frac{410}{0.85 \times 30} = 16,078$$

$$R_n = \frac{Mu}{0.8 \times 1000 \times dx^2} = \frac{100783041,2}{0,8 \times 550 \times 485^2} = 0,974$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 0,974}{410}} \right) \\ &= 0,00242 < \rho_{\text{min}} = 0,0034. \text{ Maka dipakai } \rho = 0,0034. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{f1} &= \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} \\ &= \frac{100783041,2}{0,85 \times 0,65 \times 410 \times 485} = 917,338 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{f2} &= \rho \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,0034 \times 550 \times 485 \\ &= 906,95 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi A_f yang menentukan adalah $A_{f1} = 917,338 \text{ mm}^2$.

Tulangan Pokok As :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \cdot f_y} = \frac{76641,096}{0,65 \cdot 410} = 287,584 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{min}}} &= 0,04 \times \left(\frac{f_c}{f_y} \right) \times b \times d \\ &= 0,04 \times \left(\frac{30}{410} \right) \times 400 \times 485 \\ &= 567,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= (A_f + A_n) \\ &= (917,338 + 287,584) \\ &= 1204,922 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{(menentukan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \left(\frac{2 \cdot A_{vf}}{3} + A_n \right) \\ &= \left(\frac{2 \times 1112,675}{3} + 287,584 \right) \\ &= 1029,367 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan 4D20 ($A_s = 1256,637 \text{ mm}^2$)

$$A_h = 0,5 \times (A_s - A_n)$$

$$= 0,5 \times (1204,922 - 287,584)$$

$$= 458,669 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 4D14 = 615,752 mm².

Dipasang sepanjang $\frac{2}{3}d = \frac{2}{3} \times 485 = 323,333 \text{ mm} = 320 \text{ mm}$ (vertikal).

Luas Pelat Landasan :

$$V_u = \emptyset \cdot (0,85) \cdot f_c \cdot A_l$$

$$A_l = \frac{383205,48}{0,65 \times 0,85 \times 30} = 23119,486 \text{ mm}^2.$$

Dipakai pelat landasan 200 x 300 mm² = 60000 mm² (tebal 15 mm).

8.4.2 Perhitungan Sambungan Balok Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik. Jadi dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 3614,766 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ terpasang}} = 3925 \text{ mm}^2$$

- Panjang penyaluran tulangan terpasang dalam tekan
Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3 :

$$l_d = l_{db} \times \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ terpasang}}}$$

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$l_d \geq 0,04 \times d_b \times f_y$$

$$\geq 0,04 \times 20 \times 410$$

$$\geq 328 \text{ mm}$$

$$l_d = \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,24 \times 410}{1 \times \sqrt{30}} \times 25 \\
 &= 449,132 \text{ mm} \\
 l_d &= 449,132,58 \times \frac{3614,766}{3925} \\
 &= 413,633 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai $l_d = 413,633 \text{ mm} \approx 420 \text{ mm}$.

- Panjang penyaluran kait standar dalam tarik.
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5, maka :

$$\begin{aligned}
 l_{dh} &= l_{hb} \times \frac{f_y}{400} \\
 l_{dh} &\geq 8d_b \\
 &\geq 200 \text{ mm} \\
 l_{dh} &\geq 150 \text{ mm} \\
 l_{hb} &= 100 \times \frac{db}{\sqrt{f'_c}} \\
 &= 100 \times \frac{25}{\sqrt{30}} \\
 &= 456,435 \text{ mm} \\
 l_{dh} &= l_{hb} \times \frac{f_y}{400} \\
 &= 456,435 \times \frac{410}{400} \\
 &= 467,846 \text{ mm} \\
 l_{dh} &\geq 200 \text{ mm} \rightarrow (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Maka dipakai $l_{dh} = 467,846 \text{ mm} \approx 470 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12db = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$.

8.5 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Anak

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dengan balok anak digunakan sambungan dengan konsol pendek. Balok anak diletakkan pada konsol yang berada pada balok induk yang nantinya akan dirangkai jadi satu kesatuan.

8.5.1 Perencanaan konsol pada balok induk

Dari analisis truktur sekunder didapatkan :

$$V_u = 36707 \text{ N}$$

Data Perencanaan :

Dimensi balok anak 25/35

Dimensi konsol :

$$b_w = 250 \text{ mm}$$

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$d = 350 - 15 - \left(\frac{1}{2} \times 18\right) \\ = 326 \text{ mm}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 410 \text{ Mpa}$$

$$a = 80 \text{ mm}$$

$$a/d = \frac{80}{326} = 0,306 < 1 \rightarrow (\text{OK})$$

$$V_n = \frac{36707}{0,75} = 48942,667 \text{ N}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.2, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah :

$$0,2 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot d = 0,2 \cdot 30 \cdot 250 \cdot 326 = 489000 \text{ N} > V_n \rightarrow (\text{OK})$$

$$5,5 \cdot b_w \cdot d = 5,5 \times 250 \times 326 = 448250 \text{ N} > V_n \rightarrow (\text{OK})$$

Luas tulangan geser friksi :

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal maka nilai koefisien gesek $\mu = 1,4$.

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} \\ = \frac{48942,667}{410 \cdot 1,4} \\ = 85,266 \text{ mm}^2.$$

Luas tulangan lentur :

Perletakan yang digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horisontal, maka gaya horisontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 akan digunakan N_{uc} minimum :

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u = 0,2 \times 36707 = 7341,4 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
Mu &= Vu.a + N_{uc} \cdot (h-d) \\
&= 36707 \times 80 + 7341,4 \times (350-326) \\
&= 3112753,6 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho_b &= \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
\rho_b &= \frac{0,85 \times 0,8 \times 30}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right) = 0,02955
\end{aligned}$$

Seusai SNI 03-2847-2013 psl 10.3 :

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,02955 = 0,0222$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{410} = 0,0034$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{30}}{410} = 0,00334$$

ρ_{\min} dipilih yang terbesar yaitu 0,0034.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{410}{0,85 \times 30} = 16,078$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \cdot 1000 \cdot dx^2} = \frac{3112753,6}{0,8 \times 300 \times 326^2} = 0,122$$

$$\begin{aligned}
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{16,078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,078 \cdot 0,122}{410}} \right) \\
&= 0,0003 < \rho_{\min} = 0,0034. \text{ Maka dipakai } \rho = 0,0034.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{fl} &= \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} \\
&= \frac{3112753,6}{0,85 \times 0,65 \times 410 \times 326} = 42,151 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{f2} &= \rho \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,0034 \times 250 \times 326 \\
 &= 277,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi A_f yang menentukan adalah $A_{f2} = 277,1 \text{ mm}^2$.

Tulangan Pokok As :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \cdot f_y} = \frac{7341,44}{0,65 \cdot 410} = 27,548 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\min}} &= 0,04 \times \left(\frac{f_c}{f_y}\right) \times b \times d \\
 &= 0,04 \times \left(\frac{30}{410}\right) \times 250 \times 326 \\
 &= 238,536 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= (A_f + A_n) \\
 &= (277,1 + 27,548) = 304,648 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{menentukan})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \left(\frac{2 \cdot A_{vf}}{3} + A_n\right) \\
 &= \left(\frac{2 \times 85,266}{3} + 27,548\right) \\
 &= 84,392 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan 2D8 ($A_s = 100,53 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 A_h &= 0,5 \times (A_s - A_n) \\
 &= 0,5 \times (100,53 - 27,548) \\
 &= 36,491 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai sengkang 4D6 = $113,097 \text{ mm}^2$.

Dipasang sepanjang $\frac{2}{3}d = \frac{2}{3} \times 326 = 217,333 \text{ mm} \approx 220 \text{ mm}$ (vertikal).

Luas Pelat Landasan :

$$V_u = \phi \cdot (0,85) \cdot f_c \cdot A_l$$

$$A_l = \frac{36707}{0,65 \times 0,85 \times 30} = 2214,6 \text{ mm}^2$$

Dipakai pelat landasan $200 \times 300 \text{ mm}^2 = 60000 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm).

8.5.2 Perhitungan Sambungan Balok Induk

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik. Jadi dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

$$\begin{aligned}d_b &= 25 \text{ mm} \\A_s \text{ perlu} &= 653,254 \text{ mm}^2 \\A_s \text{ terpasang} &= 2314,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Panjang penyaluran tulangan terpasang dalam tekan
Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3 :

$$l_d = l_{db} \times \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ terpasang}}$$

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}l_d &\geq 0,04 \times d_b \times f_y \\&\geq 0,04 \times 25 \times 410 \\&\geq 410 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}l_d &= \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} \right) d_b \\&= \left(\frac{0,24 \times 410}{1 \times \sqrt{30}} \right) 25 \\&= 449,132 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}l_d &= 449,132 \times \frac{653,254}{2314,7} \\&= 126,754 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dipakai $l_d = 126,754 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$.

Maka dipakai l_d sebesar 200 mm.

- Panjang Penyaluran Tulangan Tarik
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, maka :

$$d_b = 25 \text{ mm}; \alpha = 1,3 ; \beta = 1,0 ; \lambda = 1,0$$

$$\begin{aligned}l_d &= d_b \times \frac{3 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda}{5 \sqrt{f'_c}} \\&= 25 \times \frac{3 \times 410 \times 1,3 \times 1,0 \times 1,0}{5 \sqrt{30}}\end{aligned}$$

$$= 1459,68 \text{ mm}$$

$$l_d > 300 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan tarik $l_d = 1459,68 \text{ mm} \approx 1500 \text{ mm}$.

- Panjang penyaluran kait standar dalam tarik.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5, maka :

$$l_{dh} = l_{hb} \times \frac{f_y}{400}$$

$$l_{dh} \geq 8d_b = 176 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$l_{hb} = 100 \times \frac{db}{\sqrt{f'_c}}$$

$$= 100 \times \frac{25}{\sqrt{30}}$$

$$= 456,435 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = l_{hb} \times \frac{f_y}{400}$$

$$= 456,435 \times \frac{410}{400}$$

$$= 467,846 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 200 \text{ mm} \rightarrow (\text{OK})$$

Maka dipakai $l_{dh} = 467,846 \text{ mm} \approx 470 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12db = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$.

BAB IX

PERENCANAAN PONDASI

9.1. Umum

Pengertian umum pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lain di atasnya. Pondasi harus memperhitungkan kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri, beban isi bangunan, gaya luar seperti: tekanan angin, gempa bumi, dan lain - lain. Di samping itu, tidak boleh terjadi penurunan level melebihi batas yang di iijinkan.

Pondasi terdiri dari dua jenis utama. Yaitu pondasi dangkal dan dalam. Pondasi dangkal terdiri dari pondasi tapak, pondasi menerus dan pondasi lingkaran. Pondasi dalam terdiri dari pondasi sumuran, tiang pancang dan telapak. Dalam perencanaan ini di gunakan pondasi tiang pancang.

9.2. Data Tanah

Perencanaang gedung membutuhkan kelengkapan data tanah dimana gedung tersebut di bangun. Hal ini untuk menyesuaikan kondisi gedung dengan karakteristik tanah tempat bertumpunya gedung tersebut. Maka dari itu pada perencaan ini di gunakan data tanah "pembangunan jembatan MERR" dari laboratorium mekanika tanah dan batuan teknik sipil ITS. Adapun data tanah yang telah tersedia untuk perencaan ini meliputi data penyelidikan tanah hasil SPT (terlampir).

9.3. Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi, spesifikasi dari tiang pancang memiliki peranan penting. Untuk perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *spun pile*.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.

2. Mutu beton tiang pancang K-500 (*concrete cube compressive strength is 500 kg/cm² at 28 days*).

Berikut adalah spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan :

- Diameter luar (D) : 500 mm
- Tebal : 90 mm
- Cross section : 1160 mm²
- Bending momen crack : 10,5 tm
- Bending momen ultimate : 15,7 tm
- Allowable axial : 150 ton

9.4. Daya Dukung Tiang

9.4.1. Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Pada perencanaan pondasi, daya dukung pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) serta daya dukung perlawanan tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_s). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang di tanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut. Hasil daya dukung yang menentukan akan dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok.

Perhitungan daya dukung tiang pancang dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT* menurut Luciano Decourt.

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

Q_L = daya dukung tanah maximum pada pondasi

Q_p = *resistance ultime* di dasar pondasi

Q_s = *resistance ultime* akibat lekatan lateral

$$Q_p = q_p \cdot A_p \cdot \alpha = (N_p \cdot K) A_p \cdot \alpha$$

$$Q_s = q_s \cdot A_s \cdot \beta = (N_s/3 + 1) A_s \cdot \beta$$

Dimana :

NP = harga rata-rata SPT disekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi

$$= \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n}$$

B = diameter dasar pondasi

K = koefisien karakteristik tanah :

12 t/m² = 117.7 kPa (lempung)

20 t/m² = 196 kPa (lanau berlempung)

25 t/m² = 245 kPa (lanau berpasir)

40 t/m² = 392 kPa (pasir)

A_P = luas penampang dasar tiang

q_P = tegangan diujung tiang

N_s = harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan 3 ≤ N_s ≤ 50

A_s = luas selimut tiang

q_s = tegangan akibat lekatan lateral t/m²

α dan β = koefisien berdasarkan tipe pondasi dn jenis tanah.

Harga N dibawah muka air tanah harus di koreksi menjadi N' berdasarkan perumusan Terzaghi & Peck, berikut adalah perumusan N koreksi :

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

Dimana :

N = jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk dibawah muka air tanah.

9.4.2. Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk daya dukung pondasi group, terlebih dahulu dikoreksi dengan koefisien efisiensi C_e.

$$Q_{Lgroup} = Q_{L(1 \text{ tiang})} \times n \times C_e$$

Dengan :

n = jumlah tiang dalam group

Untuk menghitung koefisien efisiensi C_e, digunakan cara Converse – Labarre :

$$C_e = 1 - \frac{\arctan \frac{\phi}{s}}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right)$$

Dimana :

- \emptyset = diameter tiang pondasi
- S = jarak as ke as antar tiang dalam group
- m = jumlah baris tiang dalam group
- n = jumlah kolom tiang dalam group

9.4.3 Repartisi Beban di Atas Tiang berkelompok

Bila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (*poer*) bekerja beban-beban vertikal (V), horisontal (H), dan momen (M), maka besarnya beban vertikal ekivalen (P_v) yang bekerja pada sebuah tiang adalah :

$$P_v = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{\sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{\sum Y^2}$$

Dimana :

- P_v = beban vertikal ekivalen
- v = beban vertikal dari kolom
- n = banyaknya tiang dalam group
- M_x = momen terhadap sumbu x
- M_y = momen terhadap sumbu y
- X_{maks} = absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang
- Y_{maks} = ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang.
- $\sum X^2$ = jumlah dari kuadrat absis tiap tiang terhadap garis netral group
- $\sum Y^2$ = jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang terhadap garis netral group

Nilai x dan y positif jika arahnya sama dengan arah e, dan negative bila berlawanan dengan arah e.

9.4.4. Perhitungan Tiang Pancang Tunggal

Dari hasil data tanah digunakan contoh untuk kedalaman 35 m dengan diameter tiang pancang 500 mm.

Dari data tanah tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan Luciano Decourt :

$$Q_N = Q_P + Q_s$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Q_P &= (N_p \cdot K) \cdot A_p \\ &= (26,111 \times 27) \times 0,19635 \\ &= 138,421 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= (N_s/3 + 1) \cdot A_s \\ &= (20,72549/3 + 1) \cdot 54,978 \\ &= 434,784 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_P + Q_s \\ &= 138,421 + 434,784 \\ &= 573,205 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$Q_u = P_{\text{ijin 1 tiang}} = \frac{Q_L}{SF} = \frac{573,205}{3} = 191,068 \text{ ton}$$

Tabel 9.1. Hasil analisis SPT

Depth	Qp						Qs				SF = 3	
	N	N'	Np	K	Ap	Qp	Ns	Ns'	As	Qs	QL	QU
m	Sat	Korek		t/m2		ton			m2	ton	ton	ton
0	1	1	3,333	12	0,196	7,854	3	9	0	0	7,854	2,618
1	1	1	6	12	0,196	14,14	3	9	1,571	3,142	17,28	5,76
2	1	8	7,417	12	0,196	17,48	8	11,5	3,142	11,52	28,99	9,665
3	13	14	9,467	12	0,196	22,31	14	14,5	4,712	26,7	49,01	16,34
4	11,17	13,08	11,15	40	0,196	87,57	13,08	14,04	6,283	33,68	121,3	40,42
5	7,5	11,25	11,23	26	0,196	57,35	11,25	13,13	7,854	37,31	94,65	31,55
6	3,833	9,417	10,08	12	0,196	23,76	9,417	12,21	9,425	39,01	62,77	20,92
7	1,833	8,417	9,083	12	0,196	21,4	8,417	11,71	11	41,84	63,25	21,08
8	1,5	8,25	8,5	12	0,196	20,03	8,25	11,63	12,57	47,12	67,15	22,38
9	1,167	8,083	8,417	12	0,196	19,83	8,083	11,54	14,14	52,23	72,06	24,02
10	1,667	8,333	8,667	12	0,196	20,42	8,333	11,67	15,71	59,34	79,76	26,59
11	3	9	9,15	12	0,196	21,56	9	12	17,28	69,12	90,67	30,22

12	4,333	9,667	9,933	12	0,196	23,4	9,667	12,33	18,85	79,59	103	34,33
13	6,333	10,67	10,93	16	0,196	34,35	10,67	12,83	20,42	93,03	127,4	42,46
14	9	12	12,08	20	0,196	47,45	12	13,5	21,99	110	157,4	52,47
15	11,67	13,33	13,4	20	0,196	52,62	13,33	14,17	23,56	128,3	180,9	60,3
16	14,5	14,75	14,82	22,5	0,196	65,46	14,75	14,88	25,13	148,7	214,2	71,39
17	17,5	16,25	16,07	25	0,196	78,87	16,25	15,63	26,7	171,3	250,2	83,4
18	20,5	17,75	16,95	25	0,196	83,2	17,75	16,38	28,27	195,6	278,8	92,92
19	21,5	18,25	17,45	25	0,196	85,66	18,25	16,63	29,85	211,4	297,1	99,02
20	20,5	17,75	18,12	25	0,196	88,93	17,75	16,38	31,42	217,3	306,2	102,1
21	19,5	17,25	19,52	25	0,196	95,8	17,25	16,13	32,99	222,7	318,5	106,2
22	24,17	19,58	21,85	25	0,196	107,3	19,58	17,29	34,56	260,1	367,4	122,5
23	34,5	24,75	24,37	25	0,196	119,6	24,75	19,88	36,13	334,2	453,8	151,3
24	44,83	29,92	26,12	25	0,196	128,2	29,92	22,46	37,7	413,6	541,8	180,6
25	45,67	30,33	26,53	25	0,196	130,2	30,33	22,67	39,27	436,3	566,6	188,9
26	37	26	25,5	25	0,196	125,2	26	20,5	40,84	394,8	520	173,3
27	28,33	21,67	23,47	25	0,196	115,2	21,67	18,33	42,41	348,7	463,9	154,6
27	28,33	21,67	23,47	25	0,196	115,2	21,67	18,33	42,41	348,7	463,9	154,6
28	24,17	19,58	21,38	25	0,196	105	19,58	17,29	43,98	331,1	436,1	145,4
29	24,5	19,75	20,22	25	0,196	99,24	19,75	17,38	45,55	345,4	444,7	148,2
30	24,83	19,92	19,98	25	0,196	98,09	19,92	17,46	47,12	360	458,1	152,7
31	25,33	20,17	20,23	25	0,196	99,32	20,17	17,58	48,69	376	475,4	158,5
32	26	20,5	20,47	25	0,196	100,5	20,5	17,75	50,27	393,7	494,2	164,7
33	26,67	20,83	20,63	25	0,196	101,3	20,83	17,92	51,84	411,8	513,1	171
34	26,83	20,92	20,72	26	0,196	105,1	20,92	17,96	53,41	425,8	530,9	177
35	26,5	20,75	20,4	27	0,196	106,8	20,75	17,88	54,98	435,2	542,1	180,7
36	26,17	20,58	19,38	27	0,196	101,5	20,58	17,79	56,55	444,5	546	182
37	22,83	18,92	17,4	27	0,196	91,11	18,92	16,96	58,12	424,6	515,7	171,9
38	16,5	15,75	15,45	27	0,196	80,9	15,75	15,38	59,69	373,1	454	151,3
39	7	11	14,17	27	0,196	74,18	11	13	61,26	285,9	360,1	120
40	7	11	12,58	27	0,196	65,89	11	13	62,83	293,2	359,1	119,7

Berdasarkan tabel 9.1 diatas, daya dukung 1 pondasi tiang pancang yang berdiameter 50 cm pada kedalaman 35 meter adalah 180,7 ton. Sehingga jumlah tiang pancang yang dibutuhkan :

$$N = \frac{P_n}{P_u} = \frac{1163}{181} = 6,425 = 7 \text{ buah.}$$

9.4.5. Perhitungan Tiang Pancang Kelompok

Jumlah tiang pancang di desain jaraknya sesuai dengan yang diijinkan. Tebal poer yang direncanakan pada tiang pancang group ini sebesar 1 meter.

Data-data perhitungan pondasi tiang pancang yang diperoleh dari software SAP 2000 v.14 :

$$P = 108,562 \text{ ton} = 1085620 \text{ N}$$

$$M_{ux} = 18,049 \text{ tm}$$

$$M_{uy} = 5,571 \text{ tm}$$

$$H_x = 0,895 \text{ ton}$$

$$H_y = 0,136 \text{ ton}$$

- Jarak antar tiang pancang

$$2,5D \leq S \leq 3D$$

$$2,5 \times 50 \leq S \leq 3 \times 50$$

$$125 \leq S \leq 150$$

Digunakan jarak antar tiang pancang 140 cm

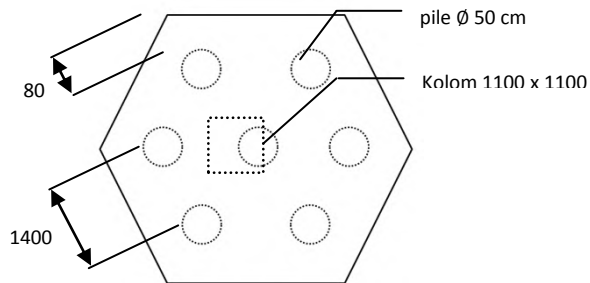
- Jarak tepi tiang pancang

$$1D \leq S \leq 2D$$

$$1 \times 50 \leq S \leq 2 \times 50$$

$$50 \leq S \leq 100$$

Digunakan jarak tiang pancang ke tepi 80 cm



Gambar 9.1. Denah Tiang Pancang

- Perhitungan daya dukung tiang kelompok
Perhitungan koefisien C_e

Dengan menggunakan perumusan Converse – Laberre :

$$C_e = 1 - \frac{\arctan \frac{\phi}{s}}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right)$$

Dimana :

- Ø = diameter tiang pondasi
- S = jarak as ke as antar tiang dalam group
- m = jumlah baris tiang dalam group
- n = jumlah kolom tiang dalam group

$$\begin{aligned} C_e &= 1 - \frac{\arctan \frac{\phi}{s}}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \\ &= 1 - \frac{\arctan \frac{500}{1400}}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \right) \\ &= 0,7088 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{L\text{group}} &= Q_{L \text{ (1 tiang)}} \times n \times C_e \\ &= 191,068 \times 7 \times 0,7088 \\ &= 1218,861 \text{ ton} \\ &= 1218861 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Perhitungan beban Aksial Maksimum Pondasi Kelompok

Reaksi kolom	= 1162,731	ton
Berat poer	= (0,5x0,74x1,282x12) x 2,4	
	= <u>13,661</u>	ton
	= 1176,392	ton

Maka : berat total < $Q_{L\text{group}}$
 1176,392 ton < 1218,861 ton → (OK)

9.4.6 Kontrol Beban Maksimum Tiang

$$\begin{aligned} M_x &= M_{ux} + (H_y \times t_{\text{poer}}) \\ &= 18,049 + (0,136 \times 1) \\ &= 18,185 \text{ tm} \\ M_y &= M_{uy} + (H_x \times t_{\text{poer}}) \\ &= 5,571 + (0,895 \times 1) \\ &= 6,466 \text{ tm} \\ \sum x^2 &= 5 \times (1,4)^2 = 11,76 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\sum y^2 = 5 \times (1,4)^2 = 11,76 \text{ m}$$

$$P_v = \frac{1080,562}{7} + \frac{6,466 \times 1,4}{11,76} + \frac{18,185 \times 1,4}{11,76}$$

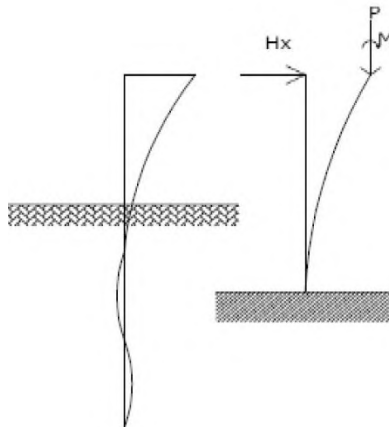
$$= 157,3 \text{ ton}$$

Jadi beban maksimum yang diterima oleh satu buah tiang pancang yang dikelompokkan dengan kepala poer adalah :

$$P_v = 157,3 \text{ ton} < Q_{ijin} = 191 \text{ ton}$$

9.4.7 Kontrol Kekuatan Tiang Pondasi

- Kontrol kekuatan tiang terhadap gaya lateral:



Gambar 9.2. Diagram gaya lateral tiang pondasi

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter

Multilayer : 1,5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

Tanah bersifat multilayer

L_c = panjang jepitan

$$= 3 \times 0,5 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m} \rightarrow (\text{menentukan})$$

Maka dipakai $L_e = 1,5 \text{ m}$.

$$\begin{aligned} M_x &= L_e \times H_x \\ &= 1,5 \times 0,895 \\ &= 1,3425 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= L_e \times H_y \\ &= 1,5 \times 0,136 \\ &= 0,204 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{ltiang}} &= \frac{1,3425}{7} \\ &= 0,192 \text{ tm} < M_{\text{bending crack}} = 10,5 \text{ tm} \rightarrow (\text{OK}) \end{aligned}$$

9.5 Perencanaan Poer

Poer direncanakan untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Oleh karena itu poer harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

Data Perencanaan :

N tiang pancang tiap group	= 7
Dimensi kolom	= 1100
Luas penampang poer	= 5,692 m ²
Mutu beton (f'_c)	= 30 MPa
Mutu baja (f_y)	= 410 MPa
Diameter tulangan	= 20 mm
Selimut beton	= 60 mm

Tinggi efektif :

$$\begin{aligned} D_x &= 1100 - 60 - \frac{1}{2} \times 20 = 1030 \text{ mm} \\ D_y &= 1100 - 60 - \frac{1}{2} \times 20 = 1030 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kontrol geser pons pada poer

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan geser nominal harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6}\right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1.a}$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c \times b_o \times d}}{6} \right) \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1.b}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \rightarrow \text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1.c}$$

Dimana :

$$\beta_c = \text{rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom} \\ = 1100/1100 = 1,00$$

$$B_o = \text{keliling dari penampang kritis poer} \\ = 2 \times (b_{\text{kolom}} + d) + 2 \times (b_{\text{kolom}} + d) \\ = 2 \times (1100 + 1030) + 2 \times (1100 + 1030) \\ = 8520 \text{ mm}$$

$$\alpha_s = 30$$

$$\begin{aligned} \blacksquare V_c &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c \times b_o \times d}}{6} \right) \\ V_c &= \left(1 + \frac{2}{1} \right) \left(\frac{\sqrt{30 \times 8520 \times 1030}}{6} \right) \\ &= 24032970,38 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacksquare V_c &= \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c \times b_o \times d}}{6} \right) \\ &= \left(\frac{30 \times 1030}{8520} + 2 \right) \left(\frac{\sqrt{30 \times 8520 \times 1030}}{6} \right) \\ &= 45075923,32 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacksquare V_c &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 8520 \times 1030 \\ &= 16021980,25 \text{ N} \rightarrow \text{Menentukan} \\ \phi V_c &= 0,75 \times 16021980,25 \\ &= 12016485,19 \text{ N} \\ &= 12016,485 \text{ kN} > P_u = 1085,62 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer yang direncanakan memenuhi syarat terhadap geser ponds.

BAB X

METODE PELAKSANAAN

10.1 Umum

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, salah satu peranan yang penting adalah metode pelaksanaan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Dalam perencanaan beton pracetak harus dibuat struktur tersebut mampu dan dapat terlaksana. Tahap pelaksanaan juga sangat mempengaruhi analisa yang digunakan dalam merencanakan struktur.

Berikut adalah item-item pekerjaan dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan-penggunaan material beton pracetak :

- Proses pencetakan secara fabrikasi di industri pracetak

Pada proses fabrikasi di industri pracetak, memiliki beberapa pertimbangan-pertimbangan yang harus diperhatikan, yaitu :

- a. Diperlukan standar khusus sehingga produk pracetak tersebut dapat diaplikasikan secara umum.
- b. Tebatasnya ukuran atau spesifikasi elemen pracetak.

- Proses pencetakan di lapangan/lokasi proyek

Selain proses percetakan secara fabrikasi di industri pracetak, elemen pracetak juga dapat dibuat di lapangan atau lokasi proyek. Maka dari itu diperlukan beberapa pertimbangan diantaranya :

- a. Proses seperti ini sering digunakan pada proyek-proyek lokal.
- b. Umur produksi elemen pracetak disesuaikan dengan umur proyek.
- c. Proses ini lebih disukai dikarenakan standarisasi hasil percetakan disesuaikan dengan keperluan proyek.

10.2 Proses Produksi Elemen Beton Pracetak

Setelah pelaksanaan pengecoran beton pracetak, perlu dilakukan curing beton untuk menghindari penguapan air semen secara drastis agar mutu beton yang direncanakan dapat terpenuhi. Pembukaan bekisting dari elemen pracetak tersebut dilakukan setelah beton berumur 3-7 hari pada suhu kamar.

Syarat-syarat dari cetakan elemen beton pracetak :

- Mudah ditangani dan tidak bocor
- Mudah untuk dipindahkan
- Volume dari cetakan stabil untuk dicetak berulang-ulang.

10.3 Pengangkatan dan Penempatan *Tower Crane*

Pada pelaksanaan konstruksi beton pracetak erat kaitannya dengan pekerjaan pengangkatan elemen beton pracetak. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam hal pengangkatan elemen beton pracetak tersebut adalah :

- Kemampuan maksimum *Crane* yang digunakan
- Metode pengangkatan
- Letak titik pengangkatan pada elemen pracetak
- Momen yang ditimbulkan akibat pengangkatan elemen pracetak tidak boleh melampaui momen retak yang diijinkan.

Hal yang berkaitan dengan pengangkatan serta penentuan titik angkat telah dibahas pada bab-bab sebelumnya. Untuk perencanaan ini penulis menggunakan *crane* yang harus disesuaikan dengan kemampuan angkat dari *crane* dengan berat elemen beton pracetak yang diangkat.

Berikut adalah data-data *Crane* yang di gunakan :

- Jenis *crane* : JL5015
- Produksi : Jiang Lu
- Jarak jangkauan maksimum 164 feet = 50 m dengan beban maksimum 6 ton
- Tinggi maksimum 140 m

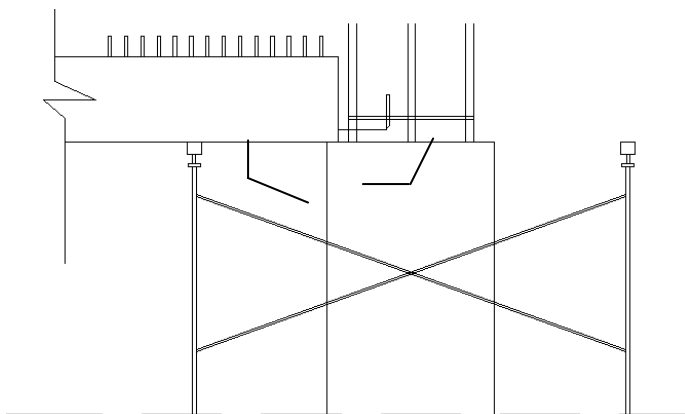
Elemen beton yang di pracetak :

- Balok Anak 30/40 (panjang = 5 m)
 $W = 0,3 \times (0,4-0,15) \times 5 \times 2400 = 936 \text{ kg}$
- Pelat 4,05 x 7,5 m²
 $W = 0,1 \times 4,05 \times 7,5 \times 2400 = 7290 \text{ kg}$

10.4 Proses Pelaksanaan

Adapun tahapan pelaksanaan yang nantinya akan digunakan dalam perencanaan Gedung Apartemen Gunawangsa MERR adalah sebagai berikut :

- a. Setelah dilakukan pemancangan serta pembuatan pile cap dan pembuatan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom serta tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang telah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.
- b. Balok induk yang hendak disatukan ke kolom, disangga menggunakan perancah. Balok diletakkan di posisi yang sejajar dengan kolom. Balok di tumpu oleh konsol sehingga panjang lewatan dapat masuk dan dicor bersamaan dengan pengecoran kolom.

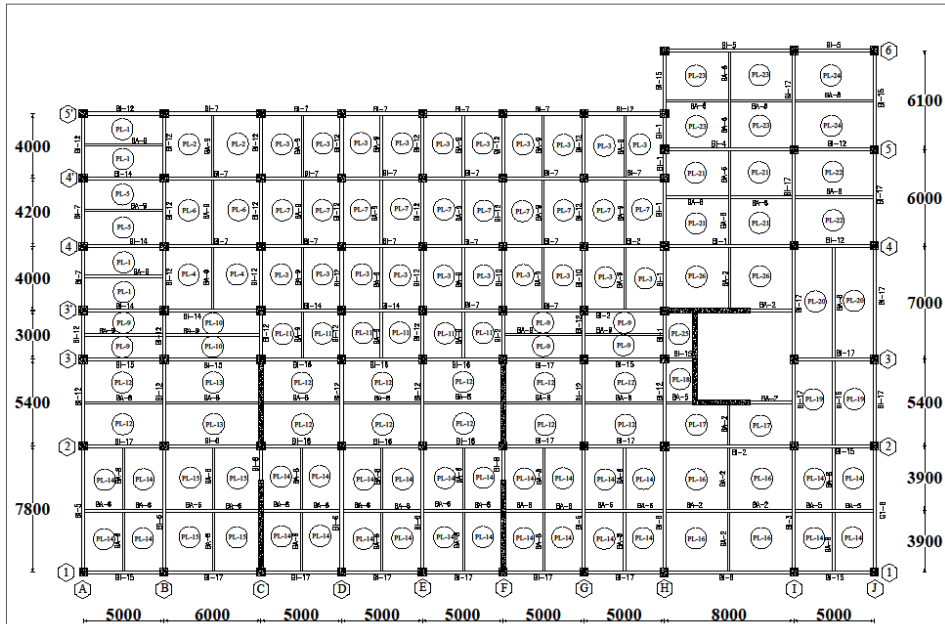


Gambar 10.1. Pemasangan balok induk pracetak

- c. Balok anak pracetak dipasang di tengah bentang balok induk di bagian konsol balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada balok induk maupun balok anak, maka dipasang tiga perancah dengan posisi satu dibagian tengah dan dua di bagian tepi.
- d. Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan pengecoran tangga.
- e. Pemasangan pelat pracetak diatas balok induk dan balok anak.
- f. Setelah pelat terpasang, dilanjutkan proses *overtopping* atau pengecoran bagian atas pelat. Permukaan pelat pracetak dibuat kasar agar dapat monolit dengan *overtopping*. Topping digunakan setinggi 5 cm.

Pada pekerjaan lantai berikutnya, urutan pelaksanaan dilakukan sama dengan penjelasan di atas.

LAMPIRAN



Skema Pembalokan dan Pelat Lantai 1 s/d 4

TUGAS AKHIR

NAMA
MAHASISWA

Mohammad
Andriya
Gunartono

NRP

3110100101

DOSEN
PEMBIMBING 1

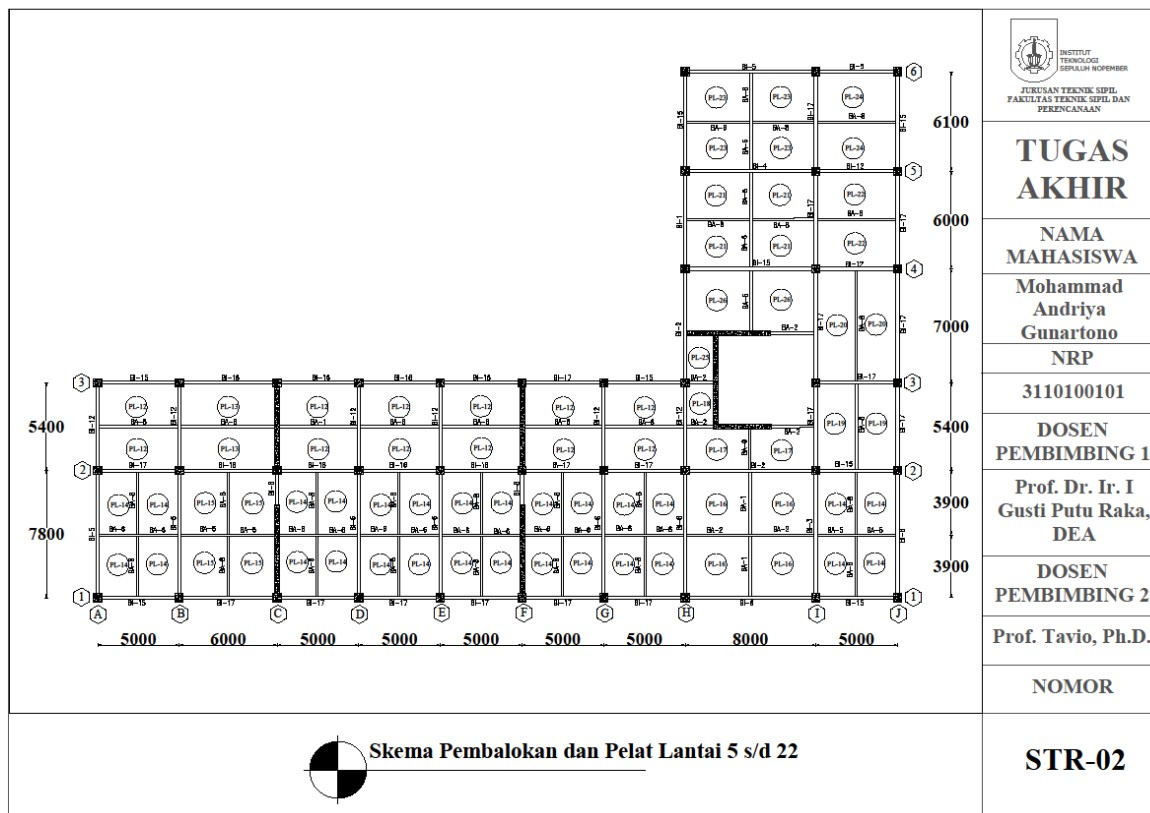
Prof. Dr. Ir. I
Gusti Putu Raka,
DEA

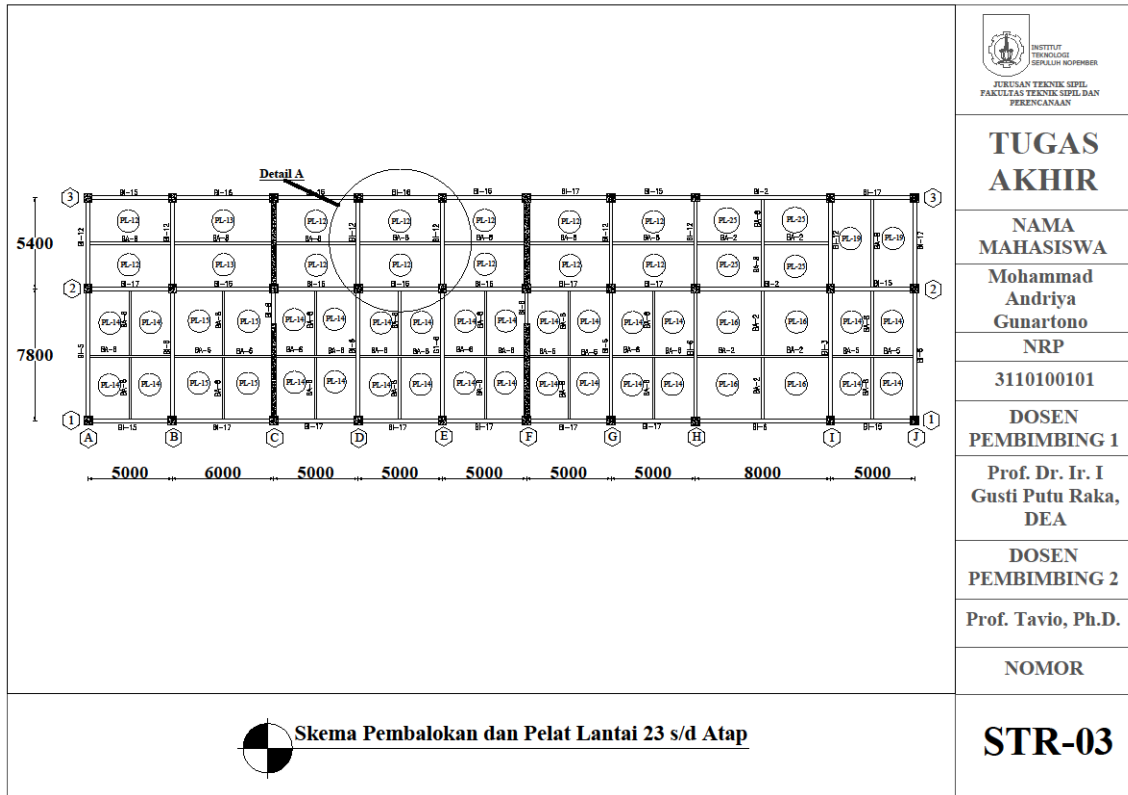
DOSEN
PEMBIMBING 2

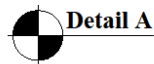
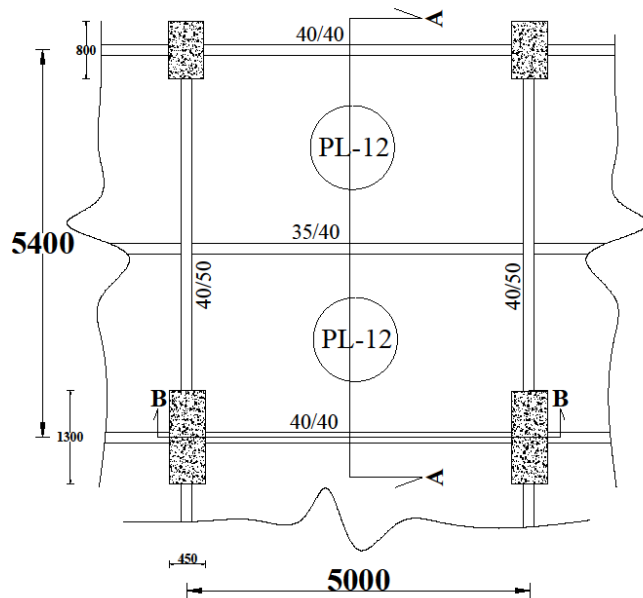
Prof. Tawio, Ph.D.

NOMOR

STR-01







TUGAS AKHIR

NAMA
MAHASISWA

Mohammad
Andriya
Gunartono

NRP

3110100101

DOSEN
PEMBIMBING 1

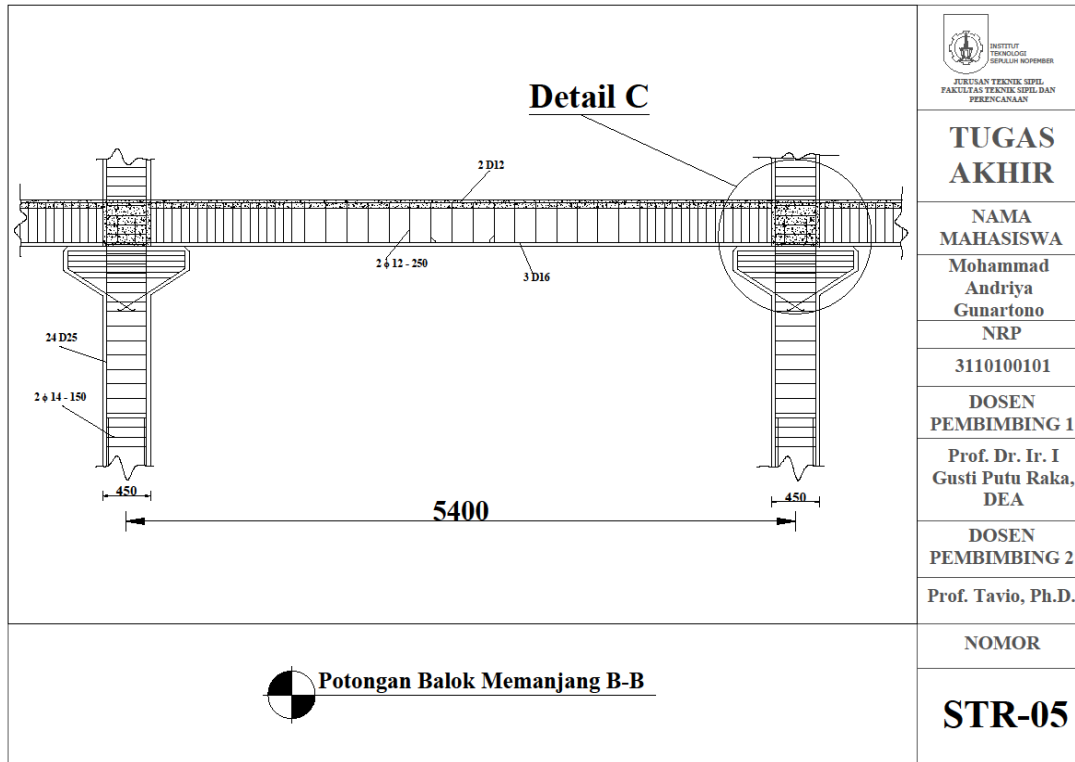
Prof. Dr. Ir. I
Gusti Putu Raka,
DEA

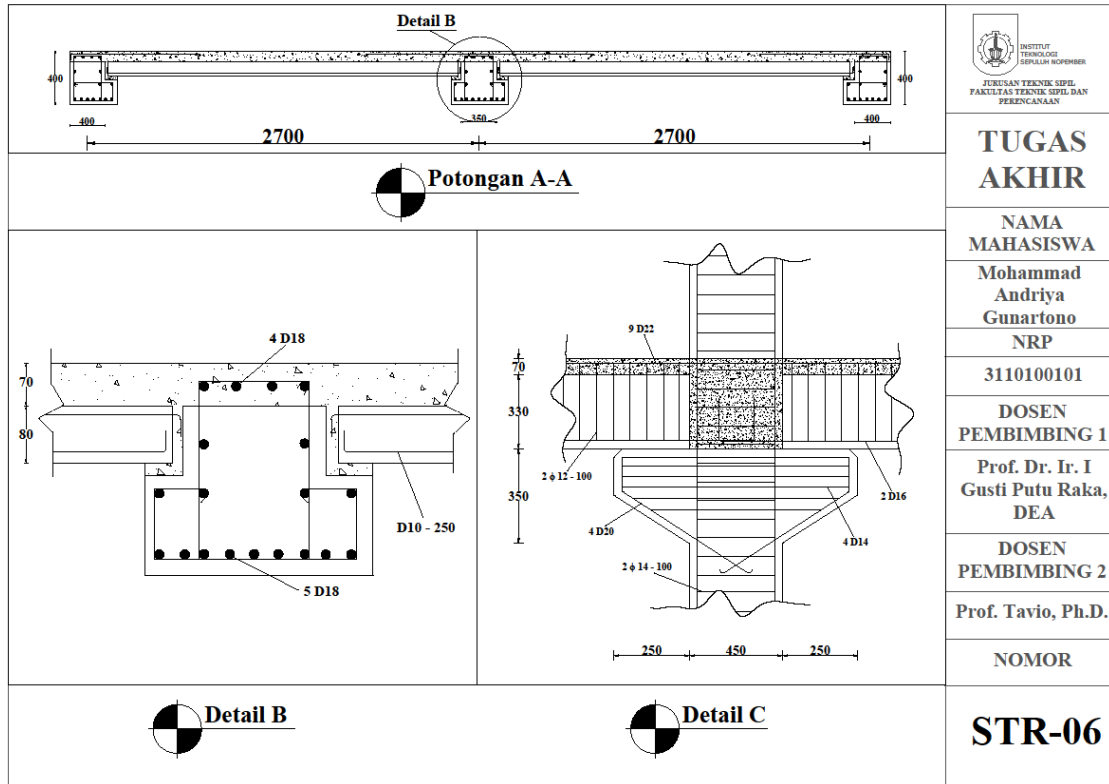
DOSEN
PEMBIMBING 2

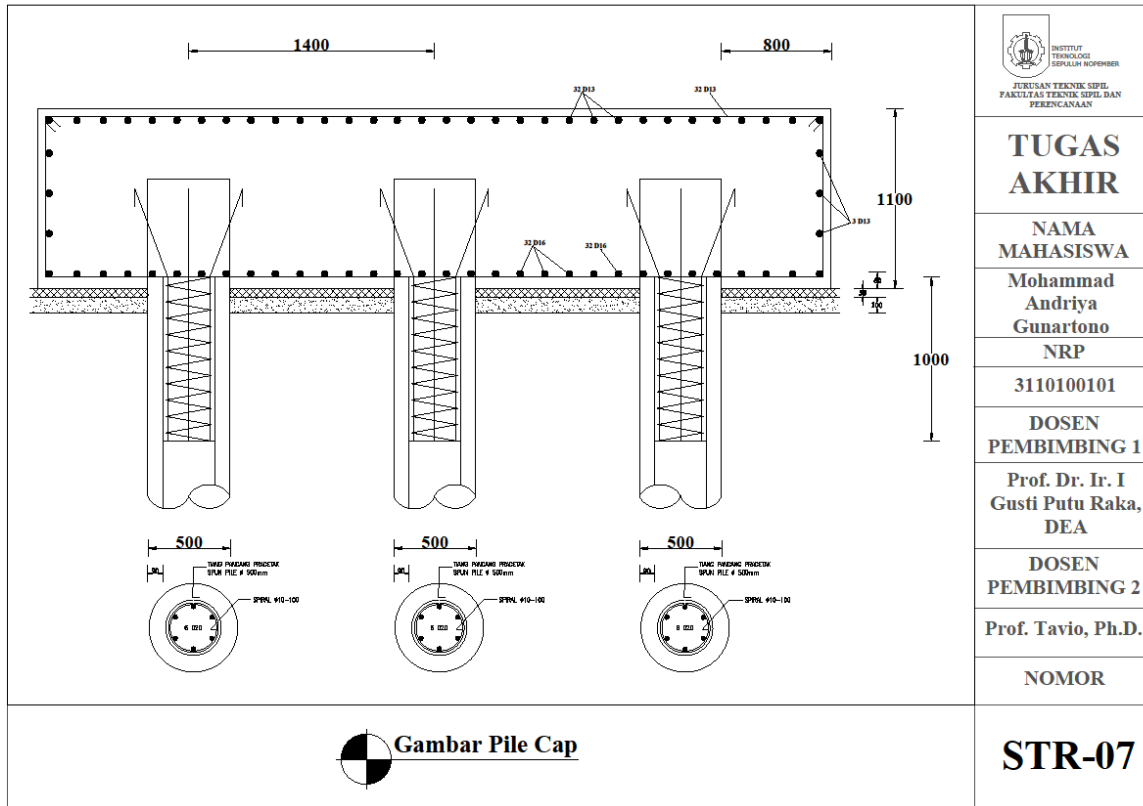
Prof. Tavio, Ph.D.

NOMOR

STR-04







KESIMPULAN

11.1 Ringkasan

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil perencanaan ulang struktur gedung apartemen Gunawaga MERR dengan menggunakan elemen pracetak didapatkan data-data perencanaan sebagai berikut :
 - Dimensi kolom = 110/110cm
 - Dimensi balok induk = 35/50 cm
 - Dimensi balok anak = 30/40 cm
 - Tebal pelat = 15 cm
 - Pile cap = D 50, H = 35 m
 - Dimensi Poer = 1,5 m x 1,5 m x 0,5m
2. Dalam melakukan perencanaan struktur gedung yang menggunakan elemen beton pracetak, terlebih dahulu direncanakan metode pelaksanaan yang akan digunakan. Ini dikarenakan dalam penganalisaan pembebanan serta permodelan struktur gedung perlu diketahui serta ditetapkan asumsi-asumsi dalam pelaksanaan pekerjaan struktur.
3. Permukaan pelat lantai yang terpasang di atas balok induk maupun balok anak dikasarkan, itu nantinya akan berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara bagian pracetak dan bagian topping agar dapat bersifat monolit dalam satu kesatuan struktur.
4. Penggunaan elemen beton pracetak pada struktur sosok digunakan pada gedung yang memiliki denah tipikal sehingga perencanaan dan pembuatan dapat dilakukan secara massal.
5. Sambungan antar elemen struktur, seperti halnya balok anak dan balok induk serta balok anak dengan pelat anak diusahakan sesuai dengan yang direncanakan.
6. Pelaksanaan metode pracetak diperlukan ketelitian dan keahlian dalam penggarapannya.

11.2 Saran

Teknologi pracetak diperlukan perhitungan optimum antara pemakaian elemen pracetak dengan elemen konvensional agar lebih efisien dalam pelaksanaannya dan diperlukan juga metode-metode sambungan yang lebih mudah dalam pengaplikasiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. **SNI 03-2847-2013 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-7833-2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG)**. Bandung : Direktorat Jendral Cipta Karya.
- Noorhidana, Vera. 2010. **Analisis Eksperimental Pengaruh Penempatan Sambungan Basah (*Wet-Joint*) Terhadap Beban Ultimit Balok Beton Bertulang**. Bandar Lampung : Universitas Lampung.
- Nurjaman, dkk. 2010. **Perilaku Aktual Bangunan Gedung dengan Sistem Pracetak Terhadap Gempa Kuat**. Jakarta : Seminar HAKI 2010.
- Precast/Prestressed Concrete Institute. 1999. ***PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete Fifth Edition***. Chicago : Precast/Prestressed Concrete Institute.
- Purwanto, dwi. 2007. **Perhitungan Jarak Tumpu Pada Struktur Pelat Lantai-Beton Pracetak**. Tangerang : Kumpulan Jurnal "Inovasi".
- Rachmat, Purwono. 2005. **Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa**. Surabaya : ITS Press.
- Robach, dkk. 2012. **Perencanaan Dinding Geser Pada Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Ganda**. Malang : Universitas Brawijaya.

- Ramadhan, dkk. 2012. **Studi Perencanaan Desain Sambungan Balok-Kolom Dengan Sistem Pracetak Pada Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.** Malang : Universitas Brawijaya.
- Sianturi, Novdin. 2012. **Tinjauan Penggunaan Balok Pracetak Pada Pembangunan Gedung.** Pematang Siantar : Jurnal Rancang Sipil Volume 1 Nomor 1.
- Wiranata, dkk. 2012. **Studi Analisis Sambungan Balok-Kolom Dengan Sistem Pracetak Pada Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.** Malang : Universitas Brawijaya.



Penulis dilahirkan di Surabaya, 11 Maret 1992, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK yayasan Al - Muslim Sidoarjo, SD Muhammadiyah 4 Surabaya, SMPN 13 Surabaya dan SMAN 2 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2010, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun

2010 dan terdaftar dengan NRP 3110100101. Di Jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi Struktur. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan, Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HMS) dan aktif sebagai staff divisi riset dan teknologi himpunan mahasiswa teknik sipil.